



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO

“MÉTODO DE VALORACIÓN ENERGÉTICA EN FUNCIÓN A LA SEVERIDAD DE LA DESALINEACIÓN, MEDIANTE EL ANÁLISIS VIBRACIONAL Y DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA”.

**GAVILÁNEZ PONCE HOMERO JAVIER
LLASAG GUALOTO HENRY ADRIÁN**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2017**

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

2015-16-05

Yo recomiendo que el Trabajo de Titulación preparada por:

**GAVILÁNEZ PONCE HOMERO JAVIER
LLASAG GUALOTO HENRY ADRIÁN**

Titulada:

**“MÉTODO DE VALORACIÓN ENERGÉTICA EN FUNCIÓN A LA
SEVERIDAD DE LA DESALINEACIÓN, MEDIANTE EL ANÁLISIS
VIBRACIONAL Y DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA”.**

Sea aceptado como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO DE MANTENIMIENTO

Ing. Carlos José Santillán Mariño. MS.C.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Eduardo Segundo Hernández Dávila
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Pablo Javier Fiallos Velasco
ASESOR DE TESIS

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: GAVILÁNEZ PONCE HOMERO JAVIER

TRABAJO DE TITULACIÓN: **“MÉTODO DE VALORACIÓN ENERGÉTICA EN FUNCIÓN A LA SEVERIDAD DE LA DESALINEACIÓN, MEDIANTE EL ANÁLISIS VIBRACIONAL Y DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA”.**

Fecha de Examinación: 2017-02-01

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Eduardo Segundo Hernández Dávila DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Pablo Javier Fiallos Velasco ASESOR DE TESIS			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

EXAMINACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LLASAG GUALOTO HENRY ADRIÁN

TRABAJO DE TITULACIÓN: “MÉTODO DE VALORACIÓN ENERGÉTICA EN FUNCIÓN A LA SEVERIDAD DE LA DESALINEACIÓN, MEDIANTE EL ANÁLISIS VIBRACIONAL Y DE LA CALIDAD DE LA ENERGÍA”.

Fecha de Examinación: 2017-02-01

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Eduardo Segundo Hernández Dávila DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Pablo Javier Fiallos Velasco ASESOR DE TESIS			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Marco Heriberto Santillán Gallegos
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los Autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Gavilánez Ponce Homero Javier

Llasag Gualoto Henry Adrián

DEDICATORIA

La presente Tesis está dedicada a Dios, ya que gracias a él he logrado concluir mi carrera, a mi tío Miguel, que, aunque no está presente físicamente me cuida desde el cielo como un hijo; me dio su personalidad y entusiasmo por salir adelante pese a las dificultades de la vida, a mis padres, porque ellos siempre estuvieron a mi lado brindándome su apoyo y consejos para hacer de mí una mejor persona.

A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Mecánica, Escuela de Ingeniería de Mantenimiento por seguir el camino de la excelencia en la educación universitaria.

A mis amigos por los gratos y difíciles momentos vividos a lo largo de la carrera, esforzándonos por muchos años de forma constante.

HOMERO JAVIER GAVILANEZ PONCE

El presente trabajo de titulación está dedicado al esfuerzo, perseverancia e interés incondicional de mis padres María Gualoto y Luis Quinancela (padre de corazón) por la superación que implantaron en mí, a mis hermanos Luis Paul y Carlos quienes son el impulso de mirar y caminar hacia adelante.

A mis abuelitos que me acogieron bajo su manto de cariño, ternura y disciplina en especial a Luis Gualoto (+) y a toda mi familia Gualoto Ushca y un fuerte abrazo a la familia Quinancela.

A mis profesores por habernos impartido y compartido sus conocimientos, compañeros y amigos por los buenos y no tan buenos momentos que formaran parte de los recuerdos.

HENRY ADRIAN LLASAG GUALOTO

AGRADECIMIENTO

Mi más sincero agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a mi querida Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, por brindarme algo muy valioso y preciado como mi profesión y darme la oportunidad de ser importante para la sociedad.

A mis Padres, como gratitud por el eterno cariño y amor por el apoyo diario les agradezco, el apoyo moral y espiritual para seguir adelante, me brindaron muchos valores que conjugados todos ellos se consolidó en el término de mi carrera profesional.

De igual manera quiero agradecer a mi Director y Asesor de tesis a quienes debo el realizar la ingeniería en esta prestigiosa Politécnica.

Con admiración y respeto.

HOMERO JAVIER GAVILANEZ PONCE

Agradezco a Dios Alfa y Omega del universo, por brindarnos la salud, la vida y la oportunidad de seguir cosechando éxitos.

Agradezco a mi madre María Gualoto por brindarme la oportunidad de seguir adelante, por la paciencia dedicada en el tiempo de la carrera, a Luis Quinancela por su apoyo de superación en mí y poder ser una guía para mis hermanos y todos los que me rodean.

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en especial a la escuela de Ingeniería de Mantenimiento por abrirnos las puertas para obtener un título de alta jerarquía, a todos mis maestros por compartir sus conocimientos y llenarnos de sabiduría.

HENRY ADRIAN LLASAG GUALOTO

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
1.4 Hipótesis	3
1.4.1 <i>Variables dependientes</i>	3
1.4.2 <i>Variables independientes</i>	3
2. FUNDAMENTO TEORICO	
2.1 Desalineación de motores trifásicos.....	4
2.1.1 <i>Tipos de desalineación</i>	4
2.1.1.1 <i>Desalineación angular</i>	5
2.1.1.2 <i>Desalineación paralela</i>	5
2.1.2 <i>Tolerancias de la desalineación en mm</i>	6
2.1.3 <i>Tolerancias de la desalineación en vibraciones</i>	7
2.2 Alineación de motores eléctricos	8
2.2.1 <i>Tipos de alineación de motores</i>	8
2.2.1.1 <i>Método de la regla y nivel. o.</i>	8
2.2.1.2 <i>Método del reloj comparador</i>	9
2.2.1.3 <i>Sistema de rayo láser</i>	10
2.3 Vibración.....	11
2.3.1 <i>Parámetro de vibraciones</i>	11
2.3.1.1 <i>Frecuencia angular (ω)</i>	11
2.3.1.2 <i>Periodo (T)</i>	11
2.3.1.3 <i>Frecuencia (f)</i>	12
2.3.1.4 <i>Ciclo</i>	12
2.3.1.5 <i>Amplitud</i>	12
2.3.2 <i>Medidas de amplitud de vibraciones</i>	12
2.3.3 <i>Niveles para medir la desalineación</i>	13
2.3.3.1 <i>Desplazamiento (D)</i>	13
2.3.3.2 <i>Velocidad (V)</i>	13
2.3.3.3 <i>Aceleración (a)</i>	14
2.3.4 <i>Tipos de vibraciones</i>	14
2.3.4.1 <i>Vibración simple</i>	14
2.3.4.2 <i>Vibración compuesta</i>	15
2.3.5 <i>Espectros de vibración</i>	15
2.3.6 <i>Puntos de ubicación para la toma de datos</i>	16
2.4 Motor de inducción.....	16
2.4.1 <i>Motor eléctrico trifásico tipo jaula de ardilla</i>	17
2.4.1.1 <i>Elementos constituyentes</i>	17
2.4.2 <i>Calidad energética en los motores eléctricos</i>	18
2.4.3 <i>Tipos de potencias eléctricas</i>	18
2.4.3.1 <i>Potencia activa</i>	18
2.4.3.2 <i>Potencia reactiva</i>	19

2.4.3.3	<i>Potencia aparente (S).</i>	19
2.4.4	<i>Carga de un motor eléctrico.</i>	20
2.4.5	<i>Eficiencia del motor eléctrico (η).</i>	20
2.4.5.1	<i>Potencia de entrada nominal</i>	20
2.4.5.2	<i>Potencia de salida nominal (Ps).</i>	20
2.4.5.3	<i>Carga de un motor eléctrico (carga).</i>	21
2.4.5.4	<i>Desbalance de voltaje.</i>	22
2.4.5.5	<i>Curva de rendimiento de los motores eléctricos weg-22.</i>	22
2.5	<i>Ajuste por mínimos cuadrados.</i>	23
3.	DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS	
3.1	<i>Sistemas del banco de pruebas.</i>	25
3.1.1	<i>Sistema de potencia.</i>	26
3.1.2	<i>Sistema de transmisión.</i>	26
3.1.3	<i>Sistema de carga.</i>	27
3.1.4	<i>Sistema de lubricación.</i>	27
3.2	<i>Selección del motor.</i>	27
3.3	<i>Selección del sistema de transmisión.</i>	28
3.3.1	<i>Selección del eje.</i>	28
3.3.2	<i>Selección del acople.</i>	29
3.3.3	<i>Selección de la chumacera.</i>	30
3.3.4	<i>Selección de poleas.</i>	31
3.3.5	<i>Selección de la banda.</i>	31
3.4	<i>Sistema de lubricación</i>	32
3.4.1	<i>Selección del sistema de lubricación.</i>	32
3.5	<i>Diseño de la estructura del banco de pruebas.</i>	32
3.6	<i>Montaje del banco de pruebas.</i>	33
3.7	<i>Comprobación del banco de pruebas.</i>	35
4.	CALIBRACIÓN DE EQUIPOS Y OBTENCIÓN DE DATOS	
4.1	<i>Equipos de medición.</i>	38
4.1.1	<i>Relojes comparadores.</i>	38
4.1.2	<i>Equipo de medición de vibraciones.</i>	38
4.1.3	<i>Equipo Fluke 435 II.</i>	39
4.1.4	<i>Pinzas amperimétricas i5s.</i>	40
4.2	<i>Preparación del banco de pruebas para las mediciones.</i>	40
4.2.1	<i>Puntos de medición.</i>	40
4.2.1.1	<i>Puntos de medición del Vibracheck 200 ABG.</i>	40
4.2.1.2	<i>Puntos de medición del equipo Fluke 435 II.</i>	41
4.2.2	<i>Rangos de frecuencia y velocidad.</i>	42
4.2.3	<i>Datos y mediciones para la desalineación</i>	42
4.2.4	<i>Toma de medidas de la desalineación angular de 1730, 1200, 900 rpm.</i>	43
4.3	<i>Toma de medidas de las intensidades del motor.</i>	43
4.4	<i>Consumo energético paralelo para 900, 1200, 1730 rpm.</i>	45
4.5	<i>Consumo energético angular 900, 1200 y 1730 rpm</i>	46
5.	ESTUDIO Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	
5.1	<i>Desalineación del motor a 900 rpm angularmente.</i>	47
5.1.1	<i>Desalineación angular.</i>	47
5.1.1.1	<i>Gráfica del espectro alineado a 900 rpm angular.</i>	47

5.1.1.2	<i>Gráfica del espectro desalineado a 15,3 mm rad.</i>	48
5.1.1.3	<i>Tabla de valores de la desalineación vs rms a 900 rpm.</i>	49
5.1.1.4	<i>Regresión lineal 900 rpm angularmente.</i>	50
5.1.1.5	<i>Tolerancia de la desalineación.</i>	52
5.1.1.6	<i>Comparación de la ecuación obtenida a 900 rpm.</i>	53
5.1.1.7	<i>Relación de la potencia vs desalineación.</i>	53
5.1.1.8	<i>Relación de los rms vs potencia.</i>	55
5.1.2	<i>Desalineación del motor a 1200 rpm.</i>	56
5.1.2.1	<i>Gráfica del espectro alineado.</i>	56
5.1.2.2	<i>Gráfica del espectro desalineado.</i>	57
5.1.2.3	<i>Tabla de valores de la desalineación angular a 1200 rpm.</i>	58
5.1.2.4	<i>Regresión lineal a 1200 rpm angularmente.</i>	59
5.1.2.5	<i>Comparación de la ecuación obtenida a 1200 rpm.</i>	61
5.1.2.6	<i>Relación de la desalineación vs potencia a 1200 rpm.</i>	61
5.1.2.7	<i>Relación de la rms vs potencia a 1200 rpm.</i>	62
5.1.3	<i>Desalineación angular del motor a 1730 rpm.</i>	63
5.1.3.1	<i>Gráfica del espectro alineado a 1730 rpm.</i>	63
5.1.3.2	<i>Gráfica del espectro desalineado a 13,45 mm rad a 1730 rpm.</i>	64
5.1.3.3	<i>Tabla de valores de la desalineación angular a 1730 rpm.</i>	65
5.1.3.4	<i>Regresión lineal a 1730 rpm angularmente.</i>	67
5.1.3.5	<i>Tolerancia de la desalineación a 1730 rpm.</i>	69
5.1.3.6	<i>Comparación de la ecuación obtenida a 1730 rpm.</i>	70
5.1.3.7	<i>Relación de la potencia vs desalineación a 1730 rpm.</i>	70
5.1.3.8	<i>Relación de los rms vs potencia.</i>	71
5.2	<i>Desalineación paralela del motor eléctrico.</i>	72
5.2.1	<i>Frecuencias perceptibles en el análisis del diagnóstico a 900 rms.</i>	72
5.2.2	<i>Desalineación paralela a 900 rpm motor alineado.</i>	73
5.2.2.1	<i>Motor alineado con una velocidad de 900 rpm paralelo.</i>	73
5.2.2.2	<i>Máxima desalineación alcanzada a 3 mm a 900 rpm.</i>	74
5.2.2.3	<i>Valores de desalineación vs rms.</i>	75
5.2.2.4	<i>Gráfica de vibración vs desalineación a 900 rpm paralelo.</i>	75
5.2.2.5	<i>Regresión lineal de la vibración vs desalineación.</i>	76
5.2.2.6	<i>Tolerancia de desalineación del motor a 900 rpm.</i>	78
5.2.2.7	<i>Desalineación vs potencia eléctrica a 900 rpm.</i>	79
5.2.2.8	<i>Potencia vs rms a 900 rpm.</i>	80
5.2.3	<i>Análisis de la vibración y de potencia con una velocidad de 1200 rpm.</i>	81
5.2.3.1	<i>Motor alineado a 1200 rpm paralelo.</i>	82
5.2.3.2	<i>Desalineación máxima alcanzada a 1200 rpm.</i>	82
5.2.3.3	<i>Valores de la desalineación vs rms a 1200 rpm.</i>	83
5.2.3.4	<i>Gráfica de la desalineación vs. rms.</i>	84
5.2.3.5	<i>Regresión lineal a 1200 rpm paralelo.</i>	84
5.2.3.6	<i>Tolerancia de desalineación a 1200 rpm paralelo.</i>	86
5.2.3.7	<i>Desalineación vs potencia eléctrica a 1200 rpm paralela.</i>	87
5.2.3.8	<i>Potencia vs rms a 1200 rpm paralelo.</i>	88
5.2.4	<i>Análisis de la vibración y potencia con una velocidad de 1730 rpm.</i>	90
5.2.4.1	<i>Frecuencias perceptibles en el análisis a una velocidad de 1730 rpm.</i>	90
5.2.4.2	<i>Motor alineado a 1730 rpm.</i>	90
5.2.4.3	<i>Desalineación máxima alcanzada a 1730 rpm.</i>	91
5.2.4.4	<i>Valores de la desalineación vs incremento de rms a 1730 rpm paralela.</i> ...	92
5.2.4.5	<i>Gráfica de la desalineación vs. rms a 1730 rpm paralelo.</i>	93

5.2.4.6	<i>Regresión lineal de la desalineación vs rms.</i>	93
5.2.4.7	<i>Tolerancia de desalineación a 1730 rpm.</i>	95
5.2.4.8	<i>Desalineación paralela vs potencia eléctrica a 1730 rpm.</i>	96
5.2.4.9	<i>Potencia vs rms a 1730 rpm paralelo.</i>	97
5.3	<i>Tabulación de las ecuaciones en píricas</i>	98
5.3.1	<i>Ecuaciones de vibración rms en función de la desalineación.</i>	99
5.3.2	<i>Ecuaciones de potencia en función a la desalineación.</i>	99
5.3.3	<i>Ecuaciones de potencia en función del valor rms.</i>	100
5.4	<i>Pérdidas a causa de la desalineación.</i>	101
5.4.1	<i>Caso de estudio</i>	101
5.4.2	<i>Cálculo de valores porcentuales de la potencia desalineación.</i>	104
5.4.3	<i>Valores porcentuales desalineación angular.</i>	105
5.4.4	<i>Valores porcentuales de desalineación paralela.</i>	108
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Conclusiones	111
6.2	Recomendaciones	112

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

LISTA DE TABLAS

Pág.

1. Tolerancias de la desalineación en mm.	6
2. Severidad de vibraciones para máquinas menores a 15 hp.....	7
3. Valores equivalentes de rendimiento para motores weq-22.	21
4. Valores equivalentes de factor de potencia para motores weg-22.....	22
5. Lista de requerimientos.....	25
6. Datos técnicos del motor.....	28
7. Chumacera cmb, hcp 204.....	30
8. Propiedades de la grasa nlgi 3.....	32
9. Frecuencia vs velocidad.....	42
10. Valores de desalineación equivalentes a grados	43
11. Medidas de la desalineación paralela para el consumo energético.....	45
12. Medidas de desalineación angular para el análisis del consumo energético	46
13. Tabla de datos de la desalineación angular a 900 rpm	49
14. Datos de regresión lineal.....	50
15. Potencia vs desalineación	54
16. Relación de la potencia vs rms	55
17. Tabla de datos de la desalineación angular a 1200 rpm.	58
18. Datos de regresión lineal a 1200 rpm.	59
19. Relación de desalineación vs potencia.....	61
20. Relación entre la potencia vs rms	62
21. Desalineación angular vs rms	66
22. Datos de regresión lineal.....	67
23. Desalineación vs potencia a 1730 rpm	70
24. Relación de la potencia vs rms a 1730 rpm	71
25. Frecuencias perceptibles en las gráficas a 900 rpm paralelo.	73
26. Desalineación vs rms	75
27. Regresión lineal vibración vs desalineación a 900 rpm paralelo.....	76
28. Desalineación vs potencia a 900 rpm paralelo.....	79
29. Potencia vs rms a 900 rpm paralelo.....	80
30. Frecuencias presentes en el estudio a 1200 rpm.	81
31. Desalineación vs rms a 1200 paralelo.....	83
32. Regresión lineal del motor a 1200 rpm paralelo.....	85
33. Desalineación vs potencia a 1200 rpm paralelo.....	87
34. Potencia vs rms a 1200 rpm paralelo.	89
35. Frecuencias que aparecen a 1730 rpm paralelo.	90
36. Desalineación vs rms a 1730 desalineación paralela.	92
37. Regresión lineal de desalineación vs rms a 1730 rpm.	94
38. Desalineación paralela vs potencia a 1730 rpm.....	96
39. Potencia vs rms a 1730 rpm.....	97
40. Ecuaciones empíricas desalineación angular rms vs desalineación.....	99
41. Ecuaciones empíricas desalineación paralela rms vs desalineación.....	99
42. Ecuaciones empíricas de la desalineación angular potencia vs desalineación.	100
43. Ecuaciones empíricas de la potencia vs la desalineación paralela.....	100
44. Ecuaciones empíricas de la desalineación angular potencia vs rms.	100
45. Ecuaciones empíricas de la desalineación paralela potencia vs rms.	101

46. Valor porcentual de la desalineación en función a la potencia porcentual.....	105
47. Relación de la desalineación vs la potencia porcentual a 1200 rpm angular....	106
48. Relación de los valores rms vs la potencia porcentual a 1730 rpm angular	107
49. Relación de la desalineación mm y la potencia porcentual paralela a 900 rpm	108
50. Resalineación en mm vs la potencia porcentual paralelo a 1200 rpm	109
51. Resalineación vs potencia porcentual paralela a 1730 rpm	110

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1. Desalineación.....	4
2. Desalineación angular.....	5
3. Desalineación paralela	6
4. Tipos de alineación de motores.	8
5. Reloj comparador.....	9
6. Equipo optaling plus	11
7. Parámetros de vibraciones	12
8. Diagrama de amplitud.....	13
9. Magnitudes de frecuencia	13
10. Niveles de vibración.	14
11. Movimiento armonico sencillo	14
12. Suma de vibraciones simples en el dominio del tiempo.....	15
13. Procesado fft de una onda vibratoria compleja.....	15
14. Posición de los acelerómetros a) axial, b) radial	16
15. Partes principales de un motor.....	18
16. Potencia reactiva en adelanto (qc) o atraso (ql) con respecto a la tensión.....	19
17. Vector resultante (s) de sumar la potencia activa y reactiva.....	20
18. Curva de rendimiento para motores weq -22.....	22
19. Linealización.....	24
20. Banco de pruebas	25
21. Motor eléctrico trifásico de ½ hp.....	26
22. Sistema de transmisión	26
23. Carga.....	27
24. Chumacera	27
25. Banda a 25	31
26. Estructura del banco de la desalineación	33
27. Montaje del motor.....	33
28. Montaje de chumacera y polea	34
29. Montaje de alternador	34
30. Montaje de la banda.....	35
31. Alineación patas delantera	36
32. Alineación patas posteriores	36
33. Alineación patas delanteras	37
34. Alineación patas posteriores	37
35. Relojes comparadores	38
36. Vibracheck abg 200	39
37. Equipo fluke 435 ii	39
38. Pinzas amperimétricas i5s.....	40
39. Puntos de medición para el vibracheck 200 abg.....	41
40. Puntos de medición del equipo fluke 435 ii.....	41
41. Espectro de velocidad del motor alineado correctamente.....	48
42. Espectro desalineado a 15.3 mm rad.	49
43. Vibración ma vs desalineación	50

44. Gráfica de tendencia de la potencia vs la desalineación angular	54
45. Gráfica de rms vs potencia.....	55
46. Espectro alineado a 1200 rpm.....	56
47. Espectro desalineado a 1200 rpm.	57
48. Desalineación vs rms	58
49. Relación de la desalineación vs potencia.....	62
50. Relación de rms vs potencia	63
51. Espectro del motor alineado a 1730 rpm	64
52. Espectro desalineado a 15.3 mm rad.	65
53. Vibración ma vs desalineación	66
54. Potencia vs desalineación angular	71
55. Gráfica de potencia vs rms a 1730 rpm	72
56. Espectro de motor alineado a 900 rpm	73
57. Motor desalineado a 900 rpm paralelo.	74
58. Vibración vs desalineación a 900 rpm paralelo.	76
59. Desalineación vs potencia a 900 rpm paralelo.....	80
60. Potencia vs rms a 900 rpm paralelo.	81
61. Espectro alineado a 1200 rpm.....	82
62. Espectro de vibración desalineado a 1200 rpm.	83
63. Desalineación vs rms a 1200 rpm.	84
64. Desalineación vs potencia a 1200 rpm paralelo.....	88
65. Valor rms vs potencia a 1200 rpm paralelo.	89
66. Espectro del motor alineado a 1730 rpm	91
67. Desalineación máxima a 1730 rpm paralelo	92
68. Desalineación paralela vs rms a 1730.....	93
69. Desalineación paralela vs potencia a 1730 rpm.....	97
70. Potencia vs rms a 1730 rpm.....	98
71. Desalineación angular a 900 rpm vs potencia porcentual.....	105
72. Relación de la desalineación vs la potencia porcentual a 1200 rpm.....	106
73. Relación de los valores rms vs la potencia porcentual a 1730 rpm angular	107
74. Relación de la desalineación paralela vs potencia porcentual a 900 rpm	108
75. Potencia porcentual vs vibración en rms a 1200 rpm paralelo	109
76. Desalineación vs potencia porcentual a 1730 rpm paralelo.....	110

LISTA DE ABREVIACIONES

CA	Corriente Alterna
A	Amperios
ISO	Organización Internacional de Normalización
HP	Caballos de Poder
RMS	Nivel de Vibración Global (valor eficaz)
FFT	Trasformada de Fourier
INEN	Servicio Ecuatoriano de Normalización
W	Wattios
V	Voltios
VAR	Voltio Amperio
KVAR	Kilovolt Amperio Reactivo
RPM	Revoluciones por minuto
CPM	Ciclos por minuto
HZ	Hertz
AISI	Instituto Americano del Hierro y el Acero

LISTA DE ANEXOS

A	Guía de operación del banco de pruebas
B	Checklist del previo uso del banco de pruebas
C	Especificaciones técnicas del Vibracheck ABG 200
D	Especificaciones técnicas Fluke 435 II
E	Guía de laboratorio de la desalineación angular
F	Guía de laboratorio de la desalineación paralela
G	Plan de mantenimiento del banco de pruebas

RESUMEN

Al generar el método de valoración energética en función a la severidad de la desalineación en motores trifásicos jaula de ardilla, mediante el análisis de vibraciones y el análisis de la calidad de la energía, tiene el propósito de establecer parámetros de funcionamiento a distintas rpm propuestas de 900, 1200 y 1730 y comparar criterios de vibración con la eficiencia energética, con el fin de establecer un criterio de mantenimiento en la identificación de la desalineación angular o desalineación paralela. El banco de pruebas puede desalinearse de forma paralela y de forma angular en un motor trifásico jaula de ardilla de ½ Hp. Se inició con la construcción del módulo simulador de falla siguiendo los criterios de selección de elementos mecánicos adecuados, obteniendo un sistema de carga por medio de un freno magnético o alternador, para luego montar cada sistema y subsistema para poder realizar las pruebas y posteriormente su operación. En el análisis se estudió el espectro de velocidad en vibraciones con el equipo Vibracheck 200 ABG y la potencia real con la utilización del equipo Fluke 435 II con la utilización de pinzas amperimétricas de alta sensibilidad i5s, se identificó los espectros provocados por la desalineación angular y la desalineación paralela con la utilización de las cartas de Charlotte para cada fallo. Las curvas de tendencia muestran un crecimiento gradual en función al incremento de la desalineación, con una clara visualización con el analizador de vibraciones. Éstas aportan con valores rms que podemos compararla con la norma ISO-10816-1, que nos ayuda a verificar el estado del equipo siendo más palpable que el equipo de calidad de la energía que muestra las diferentes potencias de trabajo que no brindan mucha información. Las operaciones se realizaron a cabalidad obteniendo resultados aceptables en el simulador de la desalineación. En futuros experimentos de la misma índole se recomienda seguir las guías de laboratorio presentadas en los anexos de este trabajo.

PALABRAS CLAVE: <MÉTODO DE VALORACIÓN ENERGÉTICA> <MOTORES TRIFÁSICOS> <EFICIENCIA ENERGÉTICA> <DESALINEACIÓN ANGULAR> <DESALINEACIÓN PARALELA> <ESPECTRO DE VELOCIDAD> <VALORES RMS>

ABSTRACT

When generating the method of energetic valorization in function to the severity of the misalignment in motors three-squirrel cage of squirrel, through the analysis of vibrations and the analysis of the quality of the energy, it has as purpose of establishing operating parameters at different proposed rpm of 900, 1200 and 1730 and compare vibration criteria with energy efficiency. In order to establish a maintenance criterion in the identification of angular misalignment or parallel misalignment. In the best bench it can be misaligned in a parallel and angularly form in a three-phase motor squirrel cage $\frac{1}{2}$ Hp. We started with the construction of the fault simulator module following the criteria of selection of suitable mechanical elements, obtaining a system of load by means of a magnetic brake or alternator, and then assemble each system and subsystem to perform the test and then its operation. In the analysis, the vibration velocity spectrum was studied with the Vibracheck equipment 200 ABG and the actual power with the use of the fluke 435 II equipment with the use of i5s high sensitivity amperometric clamps, we identified the spectra caused by the angular misalignment and the parallel misalignment with the use of charlotte charts for each failure. The trend curves show a gradual increase in function to the increase of the misalignment, with a clear visualization with the vibration analyzer. These contribute with rms values that can be compared whit ISO- 10816-1, which helps us to verify the state of the equipment being more palpable than the equipment of quality of the energy that show the different powers of work that do not provide much information. The operations were fully enforced, obtaining acceptable results in the misalignment simulator. In future experiments of the same nature it is recommended to follow the laboratory guides presented in the annexes of this word.

KEY WORDS: <METHOD OF ENERGY EVALUATION> <THERE-PHASE ENGINES> <ENERGY EFFICIENCY> <ANGULAR DISALINATION> <PARALLEL DISALINATION> <SPEED SPECTRUM> <RMS VALUES>

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La Escuela de Ingeniería de Mantenimiento perteneciente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, una de las que ha mostrado más alto crecimiento en los últimos años, goza de un gran prestigio dentro del país, debido a que es la encargada de formar profesionales competitivos, de alta calidad y conscientes de las necesidades recurrentes de la nueva matriz productiva. Por esta razón los profesionales formados en esta institución están en capacidad de satisfacer los requerimientos competentes al área en la que se desempeñan, siempre con un enfoque en el desarrollo de nuevas tecnologías y en la búsqueda de nuevas vías para el cuidado del medio ambiente.

El argumento de esta tesis tiene como propósito ser un instrumento de aporte científico y experimental para la nueva generación de estudiantes, ya que brindará conocimientos relevantes y un alto grado de nivel académico.

Cada día se realizan investigaciones sobre nuevas tendencias que tiene como objetivo incrementar el rendimiento del motor eléctrico para su mejor rendimiento dentro del campo laboral, y a su vez reducir las pérdidas energéticas producidas por la mala alineación, así como también nuevos sistemas de recuperación de energía para incrementar la potencia y reducir el consumo.

Mediante esta tesis los futuros profesionales de la Escuela de Ingeniería de Mantenimiento, podrán aplicar esta modalidad de tecnologías y enfocarla hacia fines de eficiencia energética y calidad de la energía.

1.2 Justificación

El análisis del aprovechamiento de energía es de fundamental importancia en el campo industrial, debido a que, si existen pérdidas energéticas, existirá una pérdida directa como eficiencia energética, problemas de índoles económicas.

La disminución de producción, el análisis que se detallará a continuación especificará la manera de cómo podemos analizar y regular para evitar dichas pérdidas de energía que se dan por distintos factores, en especial por la desalineación en los acoples del motor eléctrico trifásico jaula de ardilla y sus complementos.

Será de gran beneficio en el campo industrial para evitar las pérdidas energéticas ocurridas en las máquinas acopladas a los motores de inducción jaula de ardilla, con lo que se obtendrá un análisis detallado de la energía desaprovechada causada por distintos niveles de desalineación en los acoples.

Se creará parámetros estandarizados con el equipo alineado perfectamente, con el fin de conocer el porcentaje de aprovechamiento energético, para posteriormente realizar las mediciones de corriente con pinzas amperimétricas de alta sensibilidad (i5sPQ3), CA de 5 A, Este conjunto resulta idóneo para su uso con equipos de medida trifásicos como el Fluke 435 II.

La presente tesis cumple con los objetivos planteados, y ayuda como recurso para futuros análisis en el laboratorio de Diagnóstico Técnico de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, debido que el mundo globalizado crece y somos capaces de generar aporte para una sociedad competitiva.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Generar un método de valoración energética en función a la severidad de la desalineación, mediante el análisis vibracional y de la calidad de la energía.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Implementar el módulo de pruebas de las máquinas acopladas a motores eléctricos trifásicos jaula de ardilla.

Realizar mediciones progresivas de vibraciones y calidad de la energía mientras se incrementa el grado de desalineación.

Analizar los espectros de vibración generados por la desalineación de motores trifásicos jaula de ardilla.

Determinar la relación entre el nivel de la desalineación y el incremento del consumo energético.

1.4 Hipótesis

El incremento de consumo energético en un motor trifásico jaula de ardilla con carga constante es proporcional a la desalineación.

1.4.1 Variables dependientes.

- Nivel de vibración
- Consumo energético

1.4.2 Variables independientes.

- Nivel de desalineación

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEORICO

2.1 Desalineación de motores trifásicos

La desalineación es uno de los problemas más frecuentes de vibraciones en máquinas rotativas y se debe a la dificultad que presenta la alineación de dos rotores con sus respectivos apoyos. La desalineación puede tener su origen en causas muy diversas como: rodamientos auto-alineables, distorsiones en la máquina durante su operación que producen desplazamientos del sistema conductor o conducido. (Sinai, 2013)

Entonces, la desalineación es la no coincidencia de los ejes de la parte conductora (motor eléctrico en este caso) y la parte conducida, ya que se encuentran en diferentes planos, generando vibraciones que sale de los rangos de tolerancia para un trabajo optimo, produciendo daños mecánicos en los elementos constituyentes del motor eléctrico y sus partes acopladas, además produciendo consumos energéticos innecesarios.

Figura 1. Desalineación



Fuente. Fixtuler, 2007

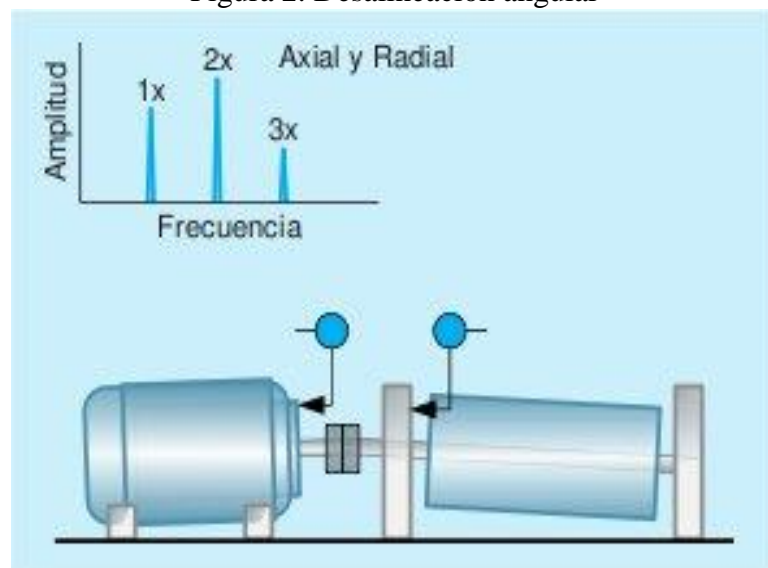
2.1.1 Tipos de desalineación.

- Desalineación paralela
- Desalineación angular

2.1.1.1 *Desalineación angular.* Hay desalineación angular cuando las líneas centrales de dos ejes se cortan formando un ángulo. (Sinais, 2013)

Se puede identificar la desalineación angular mediante las Cartas de Charlotte, que es de gran ayuda mediante la amplitud de los armónicos, que define de la siguiente manera “se caracteriza por una vibración axial elevada, tendrá una vibración axial tanto en 1X y en 2X rpm, sin embargo, no es inusual que 1X, 2X o 3X dominen. Una desalineación angular severa puede presentar muchas armónicas de 1x rpm. (Charlotte, 1996)

Figura 2. Desalineación angular



Fuente: Sinais, 2013

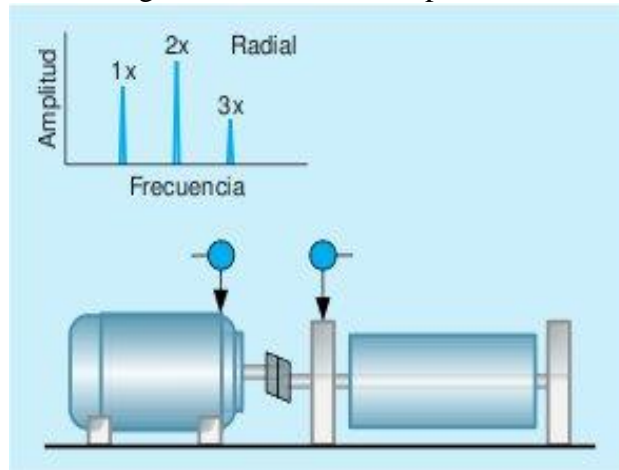
2.1.1.2 *Desalineación paralela.* La desalineación paralela es cuando las líneas centrales de los ejes son paralelos entre ellos, mientras mayor sea la distancia, más alto será el grado de severidad en las vibraciones.

Mediante las Cartas de Charlotte, que es una lista ilustrada de diagnóstico de vibraciones puede identificar este tipo de desalineación de la siguiente manera “presentan una vibración radial alta que se aproxima a 180° fuera de fase a través del acoplamiento, en este caso 2X tiene una amplitud mayor que 1X (armónico fundamental), pero su altura relativa a 1X la impone el tipo de acoplamiento. (Charlotte, 1996)

La desalineación paralela siempre tendrá armónicos superiores a la fundamental o 1X, los armónicos continuos, es decir, 2X, 3X y 4X hasta valores de 6x y 8x dependiendo el caso

van a ser superiores, la amplitud es más grande y es una característica que diferencia de la desalineación angular.

Figura 3. Desalineación paralela



Fuente: Sinais, 2013

2.1.2 *Tolerancias de la desalineación en mm.* Se puede mencionar que cada equipo está ajustado bajo una tolerancia para la desalineación para poder determinar si está en condiciones que cumpla su función especificada. Así, tenemos los valores tanto para desalineación angular como desalineación paralela que son admisibles en la alineación de motores menores a 15 Hp.

Se debe tomar en cuenta que la alineación angular y paralela tiene rangos diferentes a considerar, para ser aceptable, estos rangos de tolerancia se pueden modificar mediante la alineación, que se mostrará más adelante. Véase en la tabla 1 las tolerancias de desalineación.

Tabla 1. Tolerancias de la desalineación en mm.

Rpm	Desalineación angular		Desalineación paralela	
	Excelente	aceptable	excelente	aceptable
1800	0,5	0,7	2	4
1200	0,7	1	3	6
900	1	1,5	4	8

Fuente: Reliability web, 2016

Esta tabla muestra las características de la alineación para que el motor menor a 15 Hp pueda trabajar en condiciones normales sin afectar su capacidad de operación, cabe

mencionar que la tabla expuesta esta también ajustada a rangos de velocidad en los que pueden trabajar los motores.

2.1.3 *Tolerancias de la desalineación en vibraciones.* Cada equipo por defecto tiene una tolerancia de desalineación que es despreciable, ya que el equipo trabaja en condiciones normales sin afectar su desempeño.

Para el siguiente trabajo no se tomará en consideración la tabla de severidad de desalineación, que está bajo la norma ISO 10816-1 debido a que es un trabajo experimental de la desalineación con respecto a la vibración y la potencia.

Se trabajará para nuestro experimento con un motor eléctrico de ½ Hp, esto se ajusta a la clase I de los rangos de la tabla de tolerancia de desalineación, valor medido en rms, entonces trabajaremos con la tabla de severidad de motores de menos de 15 Hp, estos valores dados, están expuestos en valores globales, valor eficaz que es tomado en ese instante de tiempo.

Tabla 2. Severidad de vibraciones para máquinas menores a 15 Hp.

Velocidad (mm/s, rms)	Severidad
0,18 a 0,28	A
0,28 a 0,45	
0,45 a 0,71	
0,71 a 1,12	B
1,12 a 1,8	
1,8 a 2,8	C
2,8 a 4,5	
4,5a 7,1	D
7,1a 11,2	
11,2 a 18	
18 a a28	
A	Buena
B	Satisfactoria
C	Insatisfactoria
D	Inaceptable

Fuente: ISO 10816-1

2.2 Alineación de motores eléctricos

La alineación de los motores tiene relación con la forma del acoplamiento de estos ejes con respecto al elemento o máquina que se va a accionar. Por ejemplo, en máquinas acopladas directamente por sus ejes. (Harper, 2004)

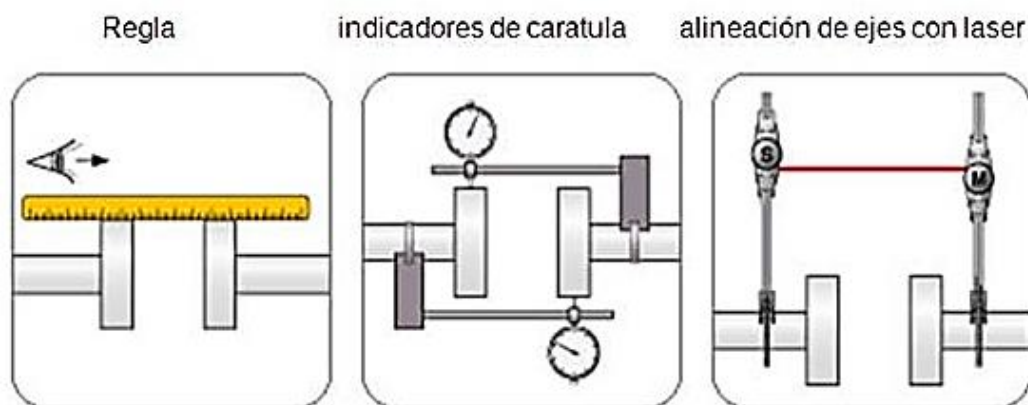
La alineación de las líneas centrales de los ejes es la coincidencia de las mismas, que se mantenga colineales, y que de esta manera no exista vibración alguna para arrancar con nuestro análisis.

Dentro de ello existen varios métodos para llegar a una alineación adecuada, y estos son los siguientes.

2.2.1 Tipos de alineación de motores

- Regla y nivel.
- Reloj comparador.
- Sistema de rayo láser.

Figura 4. Tipos de alineación de motores.



Fuente: Skf, 2014

2.2.1.1 *Método de la regla y nivel.* Es un sistema de alineamiento rápido, utilizado en los casos en los que los requisitos de montaje no son exigentes, dado que es poco preciso, debido a la forma empírica de hacerlo.

2.2.1.2 *Método del reloj comparador.* Se trata de un instrumento medidor que transmite el desplazamiento lineal y nos indica en una carátula circular el grado de recorrido existente en lo medido, esto está dado en milímetros, una aguja nos ayudará a indicar en que tanto está ubicado esta distancia, a través de un sistema piñón-corredera.

Figura 5. Reloj comparador



Fuente: Autores

Movimientos del palpador hacia el comparador serán positivos, girando la aguja en el sentido del reloj. Movimientos hacia el exterior serán negativos, desplazándose la aguja en sentido anti horario.

Los pasos para la alineación con relojes palpadores son los siguientes:

- Alineamiento angular, vista lateral.
- Alineamiento paralelo, vista lateral.
- Alineamiento angular, vista superior.
- Alineamiento paralelo, vista superior.
- Repaso de los puntos anteriores.

Los principales métodos de alineación en los que se emplea el reloj comparador para medir la desalineación son:

- Alineación mediante reloj radial y galgas (método Brown-Boveri).
- Alineación mediante relojes radiales alternados (Método Indicador Inverso).
- Alineación mediante cara y borde (Método radial-axial)

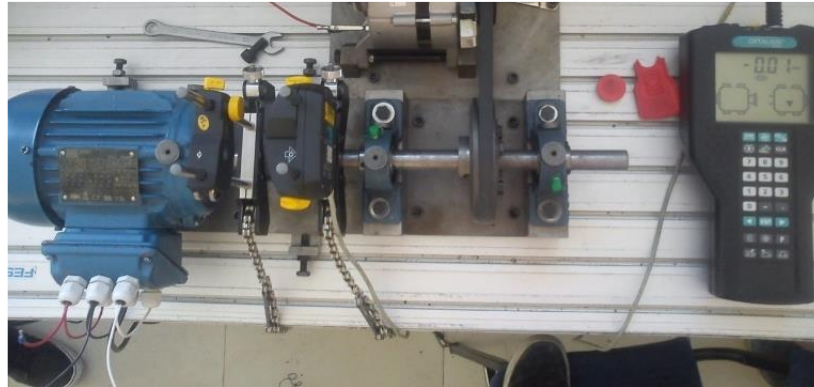
2.2.1.3 *Sistema de rayo láser.* El método de alineación con el uso de láser es de mayor confiabilidad, y suprema ante los métodos tradicionales que explico anteriormente. Un alineador de ejes láser realiza una alineación más rápida y precisa indicándonos de manera exacta en donde debemos corregir, a diferencia de los métodos tradicionales. Los alineadores de contacto manejan transductores “comunicadores electrónicos de posición”, muy parecidos a los de los relojes comparador. Por los beneficios que este presenta es el más cotizado para una alineación de los motores eléctricos entre otras máquinas que requieran alineación, en general en donde se requiera de una alineación confiable y sobretodo tratando de evitar consumos de energía innecesarios.

Por estas razones para nuestro análisis, el módulo de pruebas será alineado con un equipo de alineación láser, el mismo que cuenta el laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética.

El equipo a utilizar, es OPTALIGN PLUS, de Prüftechnik AG. Consta de una unidad Láser/Detector, que, montada en el eje de la máquina estacionaria, emite un rayo láser, que es dirigido al prisma ajustado en el eje de la máquina (en el lado móvil) en este caso el motor eléctrico; donde es reflejado hacia el detector. El equipo procesador recibe la información del detector y suministra todos los datos necesarios para un alineado preciso, los pasos a seguir se harán con el equipo des energizado para que no exista movimiento de los ejes, se proceden a alinearse, y de esta manera salvaguarda la integridad del equipo de alineación y la nuestra.

El láser es de semiconductores Ga-Al-As, y emite luz en la zona del rojo visible (longitud de onda 670 nm). Su potencia es del orden de pocos mW que ayudan para mayor transferencia de datos. (Rosmoreno, 2010)

Figura 6. Equipo OPTALING PLUS



Fuente: Autores

2.3 Vibración

La norma ISO 2041 define a la vibración, “como un movimiento oscilatorio, con respecto a un punto de referencia, donde las oscilaciones pueden ser periódicas o aleatorias”.

De acuerdo a esto, todas las máquinas presentan su propia señal de vibración por el movimiento de sus elementos y componentes, en ella se encuentra la información de cada uno de los mismos en la cual se puede determinar si están o no en óptimas condiciones de trabajo. La señal capturada de la máquina, es la suma vectorial de cada uno de sus componentes, que es calculada por el equipo.

2.3.1 *Parámetro de vibraciones.* Los parámetros principales de la vibración son la frecuencia angular, periodo, frecuencia, ciclo y la amplitud, las que nos ayudaran a determinar la severidad de la desalineación.

2.3.1.1 *Frecuencia angular (ω).* Se define como el producto de 2π por la frecuencia, su valor depende de la rapidez con que vibra un objeto, esta expresado en (rad/seg).

$$\omega = 2\pi * f \quad \text{Ecuación 1}$$

2.3.1.2 *Periodo (T).* Es el tiempo empleado en recorrer una vuelta completa, está en unidades de tiempo [s], la misma se representa matemáticamente. (Vallejo, 2015)

$$T = \frac{2\pi rad}{\omega} \quad \text{Ecuación 2}$$

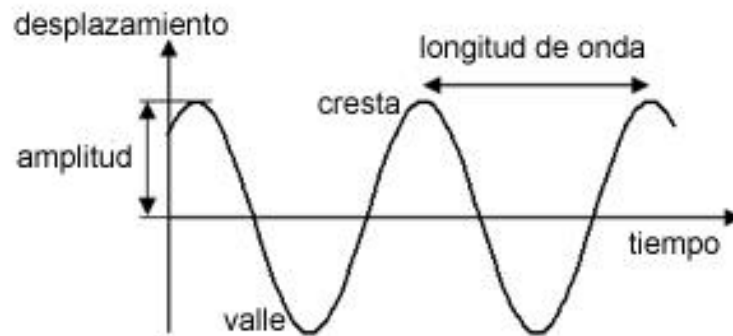
2.3.1.3 Frecuencia (f). La norma ISO 2041 define a la frecuencia, como el recíproco del periodo fundamental, se expresa en [Hz], que corresponde un ciclo por cada segundo.

$$f = \frac{1}{T} \quad \text{Ecuación 3}$$

2.3.1.4 *Ciclo*. Es el movimiento completo que realiza el sistema oscilante y que se repite cada período. (Martin, 2007)

2.3.1.5 *Amplitud*. Es la distancia máxima de la onda desde el punto de equilibrio. (White, 2010)

Figura 7. Parámetros de vibraciones



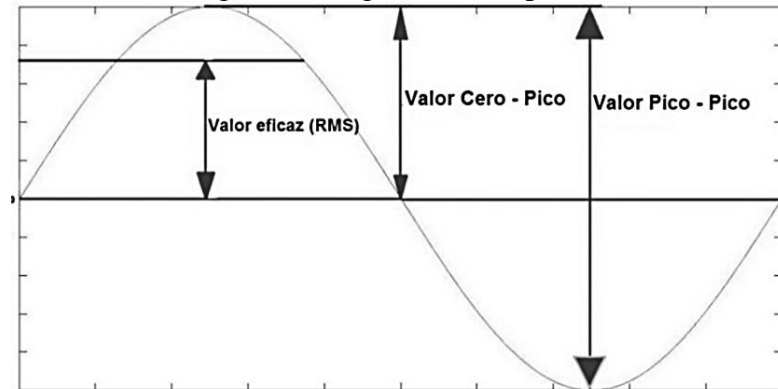
Fuente: Autores

2.3.2 *Medidas de amplitud de vibraciones*. Existe tres tipos para medir la amplitud, como se detalla a continuación ver figura 8.

- Valor pico. Valor máximo del punto de referencia a la cresta (0-A).
- Valor pico-pico. Distancia de la cresta negativa a la cresta positiva (A-A).
- Valor eficaz (rms). Valor promedio de la onda y esta expresado matemáticamente en la ecuación que se detalla a continuación, y que nos ayudará para determinar si es crítica o no la desalineación existente en los equipos que se analizan mediante este método.

$$V_{rms} = 0,707 V_{equivalente} \quad \text{Ecuación 4}$$

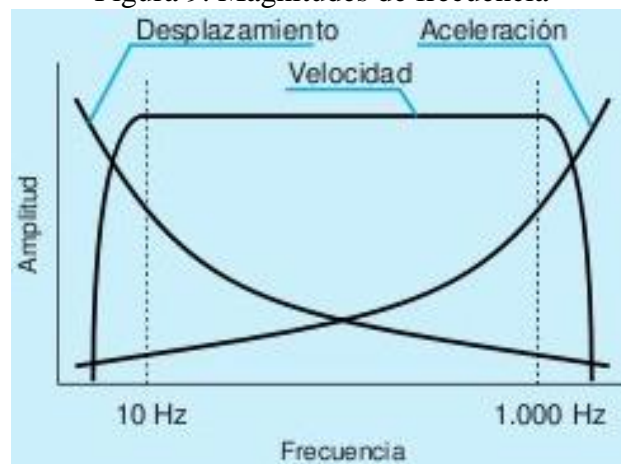
Figura 8. Diagrama de amplitud.



Fuente: Autor

2.3.3 *Niveles para medir la desalineación.* Las variables de la vibración están relacionadas entre la amplitud y la frecuencia, los que determinarán la severidad de la desalineación, en los cuales se pueden ser tres estos son: desplazamiento que abarca un máximo de 10 Hz, la velocidad hasta 1000 Hz y la aceleración más de 100 Hz, mismos que serán ajustados en el Vibracheck ABG 200 para realizar las mediciones.

Figura 9. Magnitudes de frecuencia



Fuente. Sinais, 2013

2.3.3.1 *Desplazamiento (D).* Es la distancia al objeto desde una posición de referencia o punto de equilibrio, y se mide en unidades de m, mm y μm .

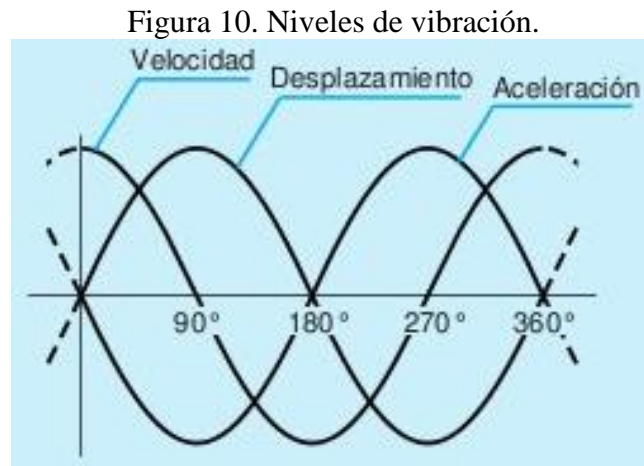
$$D = A * \text{sen}(\omega * t) \quad \text{Ecuación 5}$$

2.3.3.2 *Velocidad (V).* La velocidad se define como la proporción de cambio en el desplazamiento y se mide en unidades de m/s y mm/s

$$v = A * \omega * \cos(\omega * t) \quad \text{Ecuación 6}$$

2.3.3.3 *Aceleración (a)*. Se define como la primera derivada de la velocidad, matemáticamente y se mide en unidades de $\left(\frac{mm}{s^2}\right)$ o en gravedades ($g = 9.809 \frac{m}{s^2}$).

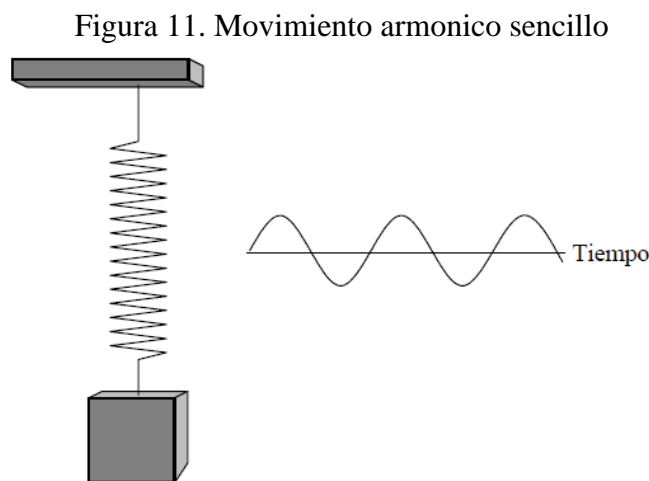
$$a = -A * \omega^2 * \sin(\omega * t) \quad \text{Ecuación 7}$$



Fuente: Sinais, 2013

2.3.4 Tipos de vibraciones

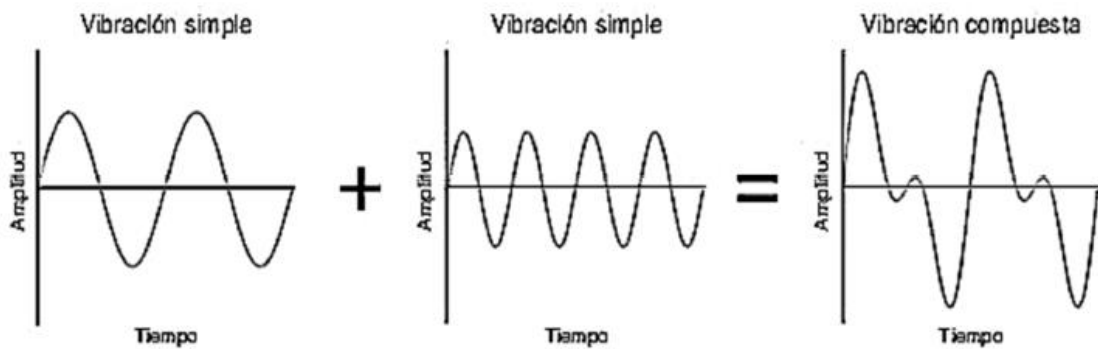
2.3.4.1 *Vibración simple*. La base principal de las señales de vibración en el dominio del tiempo son las ondas sinusoidales. Estas son las más simples y son la representación de las oscilaciones puras. (A-amq s.a, 2005)



Fuente. Glen Whait - Análisis vibracional

2.3.4.2 *Vibración compuesta.* Se puede entender como vibraciones compuestas a la suma de varias vibraciones simples. La vibración de una máquina es una vibración compuesta es una serie de vibraciones simples asociadas a sus componentes internos en movimiento, que nos indica de forma clara en qué estado se encuentran los elementos constituyentes. Teniendo esto en cuenta, se deduce que la forma de onda de vibración de una máquina no es una sola onda sinusoidal indicativa, sino que puede llegar a ser muy compleja. (Sinais, 2013)

Figura 12. Suma de vibraciones simples en el dominio del tiempo

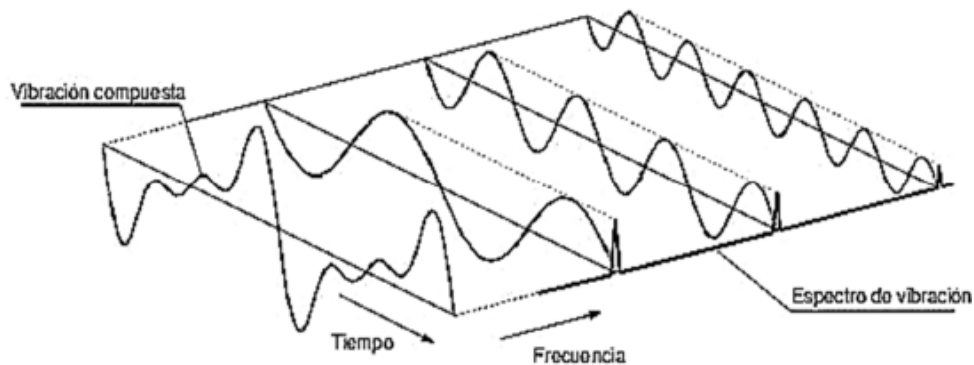


Fuente. Sinais, 2013

2.3.5 *Espectros de vibración.* Cuando se realiza análisis de vibraciones en cualquier máquina, se genera una información muy valiosa que es necesario analizar. El éxito de dicho análisis depende de la correcta interpretación que se les dé a los espectros capturados con respecto a las condiciones de operación en que se encuentra la máquina.

Se representa una señal compleja en el dominio del tiempo por medio de series de curvas sinodales con valores de amplitud y frecuencia.

Figura 13. Procesado FFT de una onda vibratoria compleja.

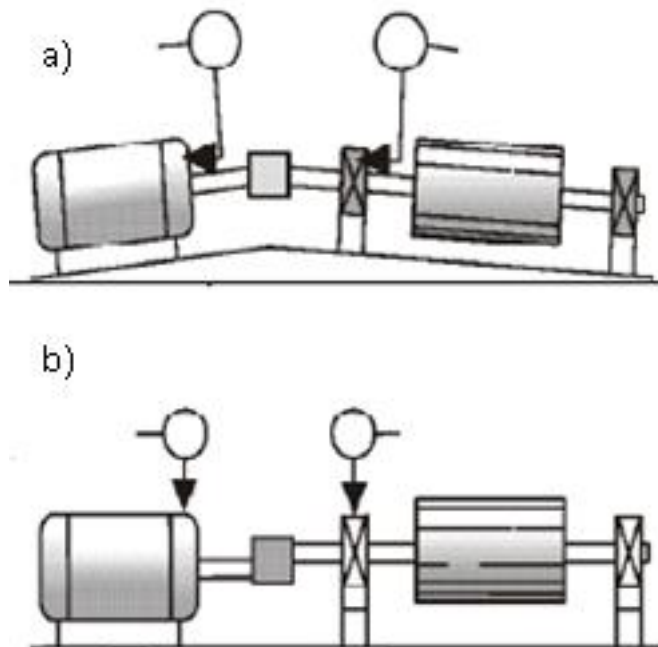


Fuente. Sinais, 2013

Entonces lo que hace un analizador de espectros que trabaja con la transformada rápida de Fourier, es capturar una señal de una máquina, calcular todas las series de señales sinusoidales que contiene la señal compleja y por último mostrarlas de forma individual en una gráfica de espectro. (Sinais, 2013)

2.3.6 *Puntos de ubicación para la toma de datos.* Para la toma de datos se realizó bajo el criterio de las cartas de Charlotte, el acelerómetro es ubicado en dos posiciones estratégicas, para la desalineación angular el acelerómetro se ubicó en posición axial, como se puede observar en el literal a), y para la desalineación paralela el acelerómetro fue ubicado de manera radial, como se puede ver en el literal b).

Figura 14. Posición de los acelerómetros a) axial, b) radial



Fuente. Cartas de Charlotte

2.4 Motor de inducción.

Una máquina síncrona es una máquina de corriente alterna cuya rapidez bajo condiciones de estado estacionario es proporcional a la frecuencia de la corriente que lleva en su inducido o armadura. El rotor, además del campo magnético que se crea por la corriente directa de campo en él, gira a la misma velocidad, de manera sincronizada con el campo magnético de rotación que producen las corrientes del inducido, y como consecuencia se obtiene un par estacionario. (Fitzgerald, 2003)

Según la norma NTE INEN 2498 (2009) motor eléctrico trifásico “es un motor que utiliza para su operación energía eléctrica de corriente alterna trifásica y contiene un juego simple de bobinas en el estator misma que servirán para generar un campo magnético”, los cuales son alimentados con corriente eléctrica de 220 y 380 V trifásicos, en función a la conexión que se desee realizar, estos son conexión en estrella y conexión en triángulo, para nuestro caso de estudio se ha planteado trabajar con corrientes de 220 que consta el laboratorio de Diagnóstico Técnico y Eficiencia Energética.

2.4.1 *Motor eléctrico trifásico tipo jaula de ardilla.* Es un motor eléctrico de inducción, en el cual los conductores del rotor son barras colocadas en las ranuras del núcleo secundario, que se conectan en circuito corto por medio de anillos en sus extremos semejando una jaula de ardilla de allí proveniente el nombre. (2498, 2009)

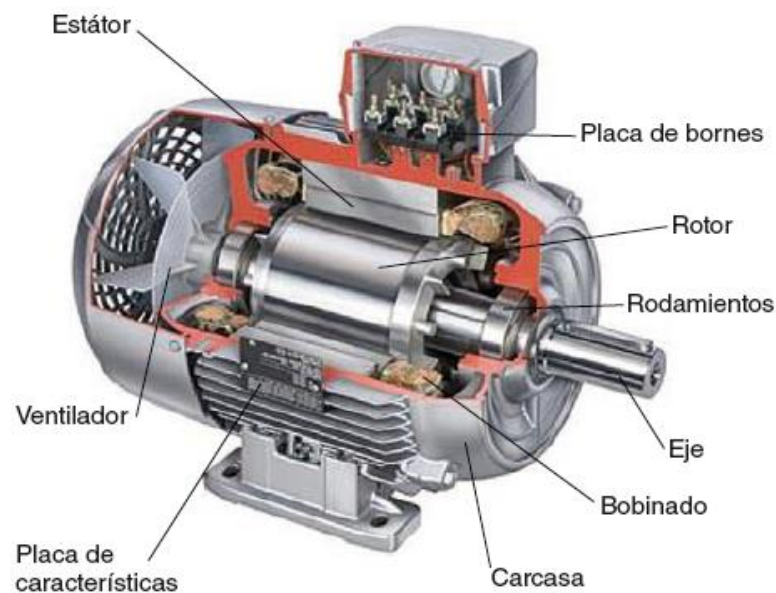
Recibe una fuerza electromotriz el cual transforma la energía eléctrica a mecánica, cabe mencionar que no toda la energía es aprovechada, un porcentaje se convierte en calor y es desaprovechada.

2.4.1.1 *Elementos constituyentes.* Los elementos que contiene el motor trifásico jaula de ardilla son varios, los más importantes se detallaran a continuación.

El motor asincrónico está compuesto de las siguientes partes elementales:

- Placa de bornes
- Rotor
- Estator
- Eje
- Rodamientos
- Bobinado
- Ventilador

Figura 15. Partes principales de un motor



Fuente. Manual de motores eléctricos

2.4.2 *Calidad energética en los motores eléctricos.* La calidad energética en los motores eléctricos permite lograr el uso eficiente de la potencia activa, donde los factores principales son la selección correcta de la potencia del motor y mejorar la calidad de energía eléctrica.

2.4.3 *Tipos de potencias eléctricas*

- Potencia activa
- Potencia reactiva
- Potencia aparente

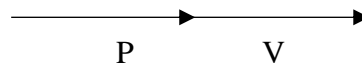
2.4.3.1 *Potencia activa.* La potencia activa en realidad es la potencia útil, es la energía que se utiliza al poner a funcionar un equipo que dependa de la electricidad para convertirlo en cualquier tipo de trabajo, y esta viene a ser el producto del voltaje instantáneo a través de sus terminales multiplicados por la corriente instantánea que fluye a través de él, está medida en unidades de vatios [w], independientemente del tipo de circuito utilizado cabe recalcar que esta potencia puede ser positiva o negativa, Un valor positivo significa que la potencia fluye hacia el dispositivo. Por el contrario, un valor

negativo indica que la potencia sale del dispositivo, es por la potencia activa es la que se contrata. (Wild, 2007)

Dicho de otra manera, “es la potencia que representa la capacidad de un circuito para realizar un proceso de transformación eléctrica en trabajo. Se simboliza con la letra P y siempre se trabaja en kW”.

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\varphi$$

Ecuación 8



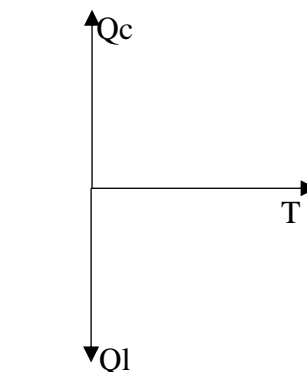
2.4.3.2 *Potencia reactiva.* Es la que consumen los motores eléctricos, transformadores y todos los dispositivos eléctricos que poseen algún tipo de bobina o enrollamiento para generar un campo magnético que requieren para su funcionamiento los equipos inductivos, las unidades de medida es el VAr y su múltiplo es el kVAr (kilovolt-amper-reactivo).

Se simboliza con la letra Q y su unidad es el kVAr. Lo que reafirma en que esta potencia es debido únicamente a los elementos reactivos, los cuales pueden ser del tipo inductivo QL o capacitivo QC.

$$Q = \sqrt{3} * V * I * \sin\varphi$$

Ecuación 9

Figura 16. Potencia reactiva en adelanto (QC) o atraso (QL) con respecto a la tensión.



Fuente: Autores

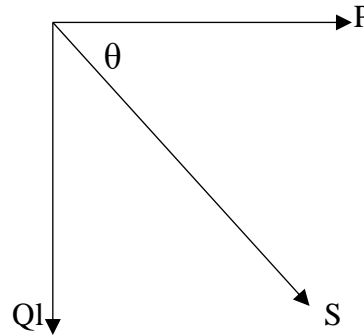
2.4.3.3 *Potencia aparente (S).* La potencia aparente también llamada compleja es la

suma geométrica de las potencias activa y reactiva. (Pincolini, 2010)

Representa la potencia total que se toma de la red de distribución.

$$S = \sqrt{3} * V * I \quad \text{Ecuación 10}$$

Figura 17. Vector resultante (S) de sumar la potencia activa y reactiva.



Fuente: Autores

2.4.4 *Carga de un motor eléctrico.* Para la selección adecuada de un motor eléctrico, se considera la carga ya que define la velocidad y la potencia del motor. La potencia que el motor consume y no convierte en potencia de salida son pérdidas.

2.4.5 *Eficiencia del motor eléctrico (η).* “La eficiencia se define como la razón entre la potencia de salida y la potencia de entrada de un motor. Se expresa en % y se calcula con la ecuación 11”. (2498, 2009)

$$\eta = \frac{P_s}{P_{e_{nominal}}} * 100 \quad \text{Ecuación 11}$$

2.4.5.1 *Potencia de entrada nominal ($P_{e_{nominal}}$).* “Es la potencia eléctrica que el motor toma de la línea, donde la potencia del motor eléctrico trifásico de corriente alterna se representa por la ecuación 26”. (2498, 2009)

$$P_{e_{nominal}} = \sqrt{3} * V * I * \cos(\varphi) \quad \text{Ecuación 12}$$

2.4.5.2 *Potencia de salida nominal (P_s).* “Es la potencia mecánica o también denominada potencia de salida, disponible en el eje del motor eléctrico y está representada

por la ecuación 13". (2498, 2009)

$$P_s = \frac{T * N}{9549} \text{ Kw} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde,

T= Par torsión en el eje del motor eléctrico [N m].

N= velocidad angular del motor eléctrico [rpm].

2.4.5.3 *Carga de un motor eléctrico (carga).* La mayoría de los motores eléctricos están diseñadas, para funcionar a cargas entre 50% y 100 % de su potencia nominal, se recomienda que la potencia nominal este sobredimensionada en 5% a 15% de su potencia nominal, si la potencia está sobredimensionada por encima del 25% de la potencia de operación, el factor de potencia disminuirá y esta relaciona en la ecuación 14.

$$Carga = \frac{Pe_{medido}}{Pe_{nominal}} \quad \text{Ecuación 14}$$

La empresa WEQ establece valores equivalentes de rendimiento para los motores eléctricos trifásicos de ½ Hp de potencia, donde el 75% del rendimiento de un motor equivale a un rendimiento de 50%, el rendimiento calculado es de 78.20% equivale a un rendimiento del 100% del motor eléctrico, observe la tabla 3.

Cabe mencionar que estos valores son dados cuando se tiene motores trabajando al 100% de su potencia.

Tabla 3. valores equivalentes de rendimiento para motores WEQ-22.

Rendimiento (%)		
50%	75%	100%
75.00%	77.50%	78.20%

Fuente: Catálogos WEQ

La empresa WEQ establece valores equivalentes de factor de potencia para los motores eléctricos trifásicos de ½ Hp, donde un factor de potencia medido es 0.49 equivale a 50%

y un factor de potencia medido es 0.72 equivale a un factor de potencia del 100%, como se detalla en la tabla 4.

Tabla 4. Valores equivalentes de factor de potencia para motores weg-22.

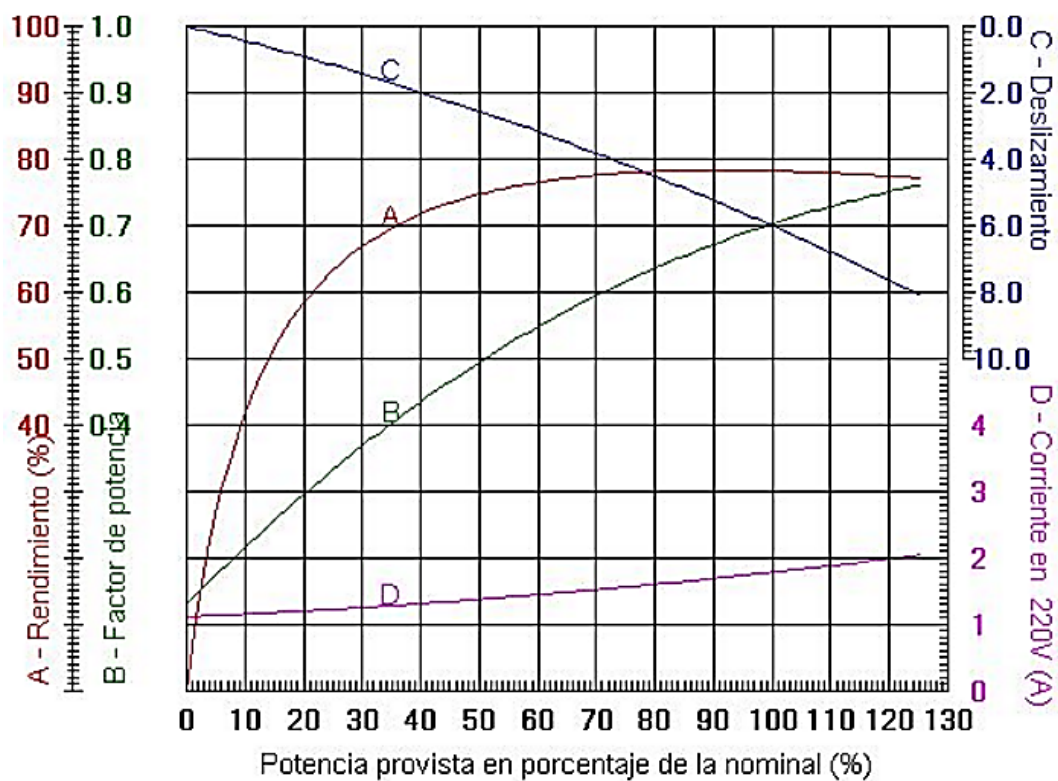
Factor de Potencia		
50%	75%	100%
0.49	0.62	0.72

Fuente: Catalogo weg

2.4.5.4 *Desbalance de voltaje.* Los motores eléctricos están diseñados para operar con características específicas de la placa. Asimismo, deben ser alimentadas con una tensión trifásica simétrica. Sin embargo, en la industria existe tensiones desequilibradas. Las tensiones desequilibradas incrementan las perdidas y disminuye la vida útil del motor eléctrico.

2.4.5.5 *Curva de rendimiento de los motores eléctricos weg-22.* La figura 18 representa las curvas características de rendimiento del motor eléctrico WEQ-22 de ½ HP de potencia mecánica.

Figura 18. Curva de rendimiento para motores WEQ -22.



Fuente: Selección de motores weg 22, 2016

2.5 Ajuste por mínimos cuadrados.

La linealización ayuda a encontrar la ecuación empírica de una pendiente a su vez el valor de correlación denominado R^2

Existen numerosas leyes físicas en las que se sabe de antemano que dos magnitudes x e y se relacionan a través de una ecuación lineal

$$y = ax + b \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde las constantes b (ordenada en el origen) y a (pendiente) dependen del tipo de sistema que se estudia, a menudo, son los parámetros que se pretende encontrar.

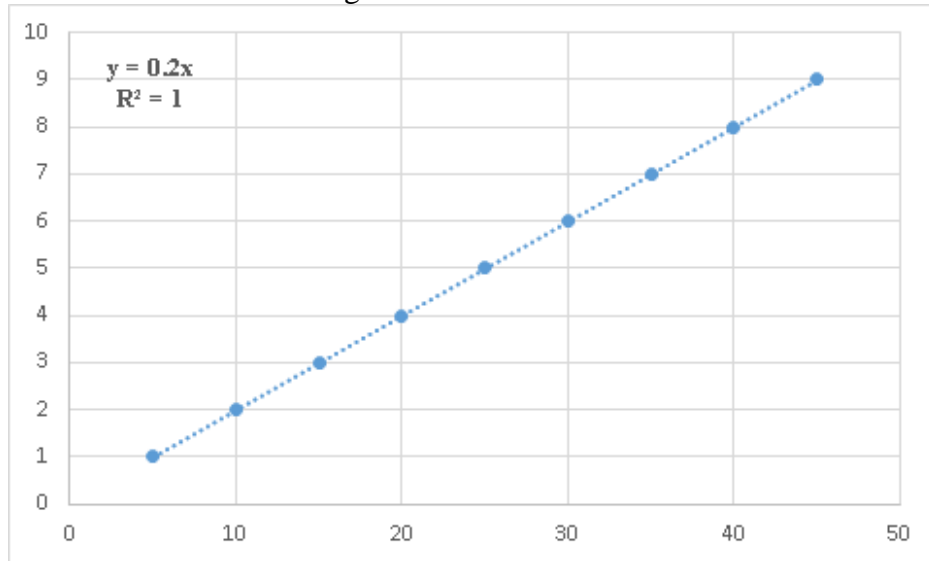
Consiste en someter el sistema a diferentes condiciones, fijando para ello distintos valores de la variable independiente x , y anotando en cada caso el correspondiente valor medido para la variable dependiente y . De este modo se dispone de una serie de puntos (x_1, y_1) , ..., (x_n, y_n) que, representados gráficamente, deberían caer sobre una línea recta. Sin embargo, los errores experimentales siempre presentes hacen que no se hallen perfectamente alineados ver figura 19. El método de mínimos cuadrados determina los valores de los parámetros a y b de la recta que mejor se ajusta a los datos experimentales. A continuación, expondremos las ecuaciones que nos ayudaran a encontrar los valores de a y b .

$$b = \frac{n\sum x*y - \sum x*\sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad \text{Ecuación 16}$$

$$a = \frac{\sum y - b\sum x}{n} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde n es el número de medidas y Σ representa la suma de todos los datos que se indican. Los errores en las medidas, se traducirán en errores en los resultados de a y b . (Torrelavega, 2012)

Figura 19. Linealización



Fuente: Autores

Para poder realizar los mínimos cuadrados y tener los valores de correlación lineal se utilizan las siguientes Fórmulas.

Error estándar estimado

$$Se = \sqrt{\frac{\Sigma y^2 - a\Sigma y - b\Sigma x*y}{n-2}}$$

Ecuación 18

Varianza de la variable separable

$$S_y^2 = \frac{\Sigma y^2}{n} - \bar{y}^2$$

Ecuación 19

Correlación

$$R^2 = 1 - \frac{S^2}{S_y^2}$$

Ecuación 20

CAPÍTULO III

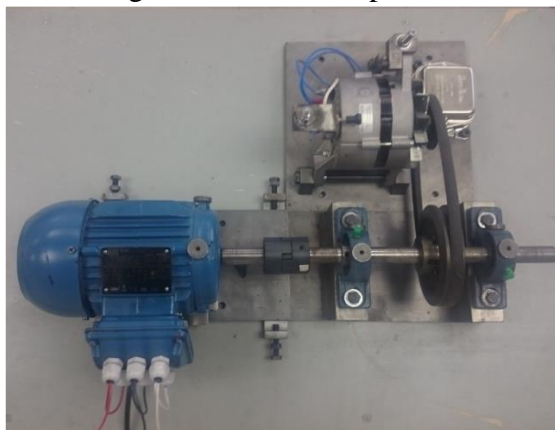
3. DISEÑO DEL BANCO DE PRUEBAS

El diseño para el banco de pruebas se estructuró en función a un análisis global, todo el procedimiento del mismo se estableció en este capítulo, los parámetros que están dados en función a ecuaciones para seleccionar adecuada de las partes y piezas.

3.1 Sistemas del banco de pruebas.

Para el banco de pruebas de la desalineación de motores trifásicos jaula de ardilla se consideró una lista de procesos y parámetros que ayudaron a la simulación de la falla que es motivo de estudio del presente trabajo de titulación.

Figura 20. Banco de pruebas



Fuente: Autores

Tabla 5. Lista de requerimientos

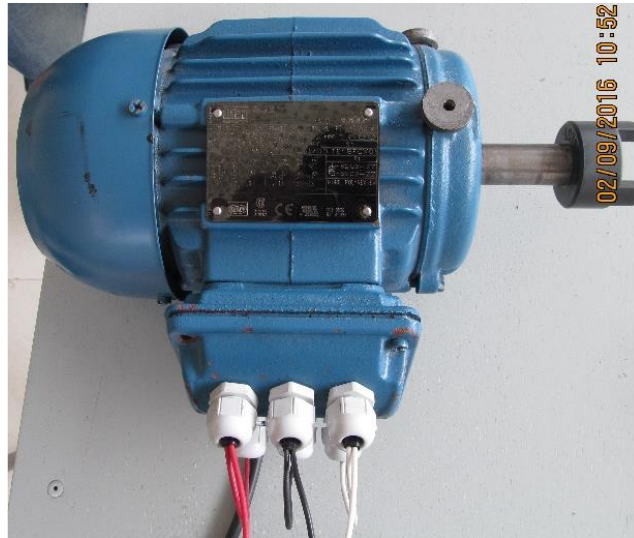
Descripción	Cantidad
Motor eléctrico	1
Alternador	1
Placas base motor	1
Placa base del alternador	1
Placa base de la desalineación	1
Poleas	2
Chumaceras	2
Correa trapezoidal	1
Regulador de voltaje	1
Foco alógeno	1

Fuente: Autores

El banco de pruebas de la desalineación se destaca en los siguientes sistemas: de potencia, transmisión, carga y lubricación.

3.1.1 *Sistema de potencia.* El sistema de potencia consta de un motor eléctrico de $\frac{1}{2}$ Hp, marca weg 22 que fue seleccionado para observar el comportamiento de las variables que son objeto de estudio.

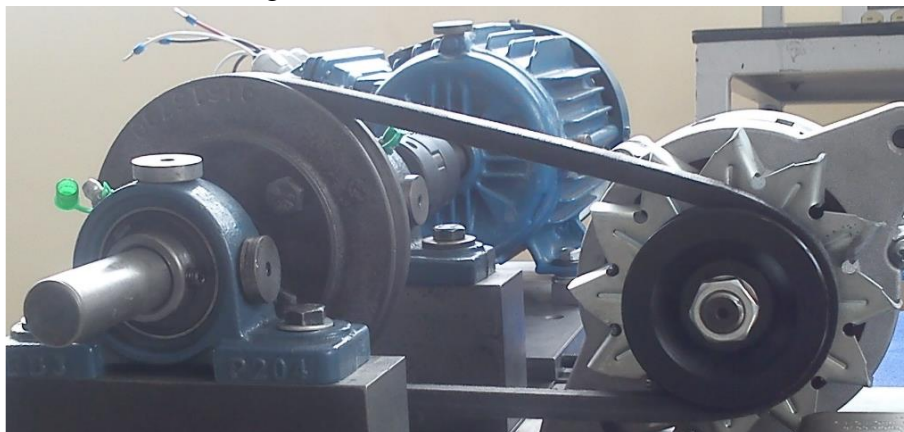
Figura 21. Motor eléctrico trifásico de $\frac{1}{2}$ Hp



Fuente: Autores

3.1.2 *Sistema de transmisión.* El sistema de transmisión está constituido por los siguientes elementos: eje, chumaceras, banda trapezoidal, acople love joy, poleas, los mismos que sirvieron para transmitir la carga al sistema de potencia bajo las velocidades establecidas para el análisis posterior.

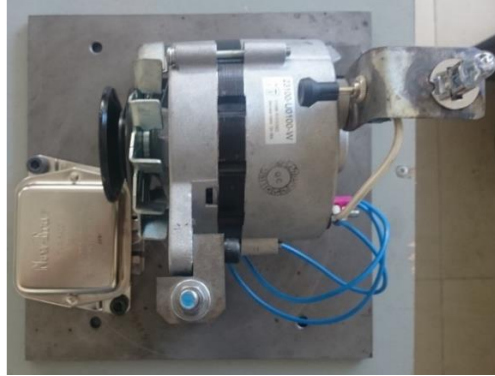
Figura 22. Sistema de transmisión



Fuente. Autores

3.1.3 *Sistema de carga.* El sistema de carga está constituido por un alternador de 12 V y 35A, el cual fue seleccionado por las características que presenta para que genere carga óptima al sistema de potencia para las velocidades de 1730 rpm 1200 rpm y 900rpm.

Figura 23. Carga



Fuente: Autores

3.1.4 *Sistema de lubricación.* El sistema de lubricación está basado en función a los manuales recomendados por los fabricantes de los rodamientos. Para este banco de pruebas se utilizó grasa NLGI 3, la grasa es inyectada por medio del punto de lubricación como se muestra en la figura 24.

Figura 24. Chumacera



Fuente: Autores

3.2 Selección del motor.

Se eligió un motor trifásico jaula de ardilla de $\frac{1}{2}$ Hp para poder observar el comportamiento de las variables propuestas, ya que los motores con estas características son los más cotizados en la industria por condiciones de costo, la capacidad de la red y de la potencia mínima de consumo.

Además, fue seleccionado este motor por seguridad ya que no presenta dificultades al momento de la toma de datos cumpliendo con los parámetros de diseño estimados por los Autores.

Tabla 6. Datos técnicos del motor

Modelo	TE1BFOXO
Potencia	½ Hp
Intensidad	2,10/1,22 A
Factor de Potencia	0,69
Frecuencia	60 Hz
Velocidad	1680 rpm
Voltaje	220/380 V

Fuente: Placa de Motor

3.3 Selección del sistema de transmisión.

3.3.1 *Selección del eje.* Se ha establecido mediante cálculos con la finalidad de no tener inconvenientes al momento de transmitir la potencia, el Par de torsión para transmisión de potencia.

Torque nominal (Cardona, 2010)

$$T_n = \frac{60 P}{2\pi n} \quad \text{Ecuación 21}$$

$$T_n = \frac{60(368)}{2\pi(1680)}$$

$$T_n = 2,09 \text{ Nm}$$

Dónde:

P= Potencia del motor [W]

n= Velocidad de giro del motor

Para calcular el diámetro del eje tenemos:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M \tau}{\pi \cdot \tau_{adm}}}$$

Ecuación 22

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 3,74 \text{ N} \cdot \text{m} \cdot 10^3}{\pi \cdot 20 \cdot \text{MPa}}} = 9,839 \text{ mm}$$

Dónde:

$M\tau$ = momento pico del torque nominal a $2,09 = 3,74 \text{ N m}$

τ_{adm} = valor cortante para ejes de acero 20 – 25 MPa

Para ejes de acero: $\tau_y = \tau_{adm} = 20 - 25 \text{ MPa}$

En base al diametro obtenido de 9,839 mm aproximando tenemos 10 mm de diámetro se decidió utilizar un acero inoxidable aisi 304 por su alta resistencia cíclica, por su alta resistencia a la fatiga y sus altas resistencias mecánicas, teniendo un diametro de 20mm y 400mm de largo, este eje esta encargado de transmitir la energía mecánica generada por el motor hacia la carga aplicada, cuenta con dos chumaceras como apoyo y montado en el eje una polea de acero propio del módulo.

El eje de acero inoxidable aisi 304 presenta ventajas como su aleación con cromo y níquel y su bajo contenido de carbono lo hace austenítico, es decir, presenta una buena resistencia a la corrosión, alta resistencia mecánica y alta resistencia a la fatiga como se mencionó anteriormente.

3.3.2 Selección del acople. Para la selección del love joy se tomo en cuenta parámetros que ayudan al banco de pruebas, que funciona como amortiguador, reduce la vibración, aísla la electricidad en algunos casos, ayuda en torsiones mínimas, facilita el mantenimiento en la alineación del motor, no utiliza lubricación.

Cálculo del acople flexible es el que detallamos a continuación el proceso:

$$Ta = \frac{P \times 5252}{rpm} lb\ plg$$

Ecuación 23

$$Ta = \frac{\frac{1}{2} Hp \times 5252}{1680 rpm}$$

$$Ta = 1,56 lb\ plg$$

Dónde:

P= Potencia del motor [Hp]

rpm= revoluciones por minuto del motor [rpm]

En función al torque del acople calculado y al diámetro del eje se a determinado que el love joy adecuado es el L 075 que cumple con las exigencias del módulo experimental de la desalineación.

3.3.3 *Selección de la chumacera.* Una vez obtenido el diámetro del eje y las tensiones producidas, el sistema de carga y de potencia, se seleccionó una chumacera que se acopló a las necesidades motrices del banco de pruebas, se tomó en cuenta las cargas radiales moderadas existentes en el módulo de pruebas, de esta manera se eligio como apoyo.dos chumaceras de marca CMB con una designación HCP 204 de la serie HC 204, por ser las más adecuadas para soportar cargas en los rodamiendo y por ser capaz de autoalinearse por si mismo compensando el Desalineación del eje, por ende se maneja criterios técnicos para poder seleccionar la chumacera adecuada. Vease figura 24.

Las dos chumaceras que fueron acopladas al eje conductor del movimiento mecánico, por su alta vida nominal y capacidad a la carga dinámica, y por fácil método de lubricación.

Tabla 7.Chumacera CMB, HCP 204

Part No.	DIMENSIÓN												Masa (kg)
CMB	d	H	L	J	A	N	N1	H1	H0	B	S	Bolt.	
HCP204	20	33.3	127	95	38	13	19	14	65	43.7	17.1	M10	0.73

Fuente: Catalogo CMB

3.3.4 *Selección de poleas.* La polea, fue seleccionada acorde a los parámetros exigentes en el banco de pruebas, disminuyendo el desgaste plástico, facilidad de transmisión de la potencia, el tipo de banda y la velocidad de giro fueron determinantes.

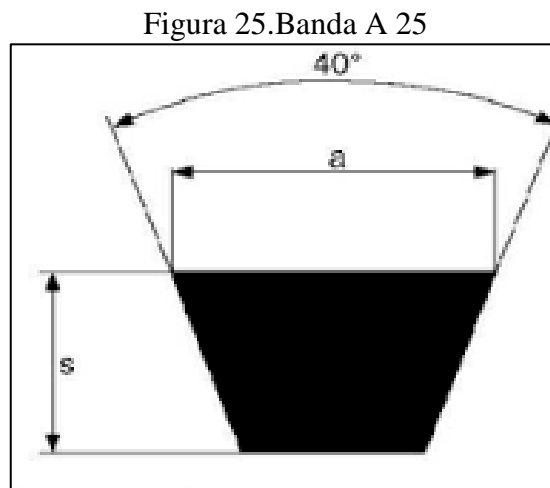
Una polea de acero de 5 plg va a ser montada en el eje conductor motriz que gira a 1680 rpm, la polea tiene que soportar una relación de transmisión de 1 a 2, la segunda polea tiene un diametro de 2 plg la cual se encuentra montada en la carga que es producida por el alternador así tenemos los cálculos pertinentes:

$$\phi 1 * n1 = \phi 2 * n2 \quad \text{Ecuación 24}$$

$$5 \text{ plg} * 1680 \text{ rpm} = 2 \text{ plg} * n2$$

$$n2 = 4200 \text{ rpm}$$

3.3.5 *Selección de la banda.* En el banco de pruebas se utilizó una banda tradicional tipo trapezoidal en V de numeración A25, que nos proporciona facilidades en la transmisión de potencia entre las dos poleas, son fáciles de instalar y remover.



Autor: Power V belt

Dónde:

a= ancho de la base mayor

s= espesor de la correa

40= ángulo de la correa

Longitud total de la correa 630 mm

3.4 Sistema de lubricación

3.4.1 *Selección del sistema de lubricación.* Los elementos utilizados en el banco de pruebas como las chumaceras son lubricados de forma manual utilizando técnicas de mantenimiento sistematizando el proceso, el tiempo de mantenimiento de lubricación dependerá de las horas de uso y de las condiciones de operación en el banco de pruebas, para esta clase y marca de chumaceras, el fabricante recomienda una grasa NLGI 3.

Los beneficios de esta clase de grasa es que nos brinda una estabilidad técnica, mecánica, resistencia a la corrosión, soportando temperaturas en condiciones normales de trabajo del módulo de pruebas.

Tabla 8. Propiedades de la grasa NLGI 3.

TIPO DE GRASA	NLGI 3
TIPO DE JABÓN	Litio
VISCOSIDAD DEL ACEITE BASE	$40\text{ }^{\circ}\text{C} \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}; 120\text{ }^{\circ}\text{C} \frac{\text{mm}^2}{\text{s}}; 12$
PUNTO DE GOTEÓ	$> 180^{\circ}\text{C} (> 355\text{ }^{\circ}\text{F})$

Fuente: Catálogo CMB

3.5 Diseño de la estructura del banco de pruebas.

Se rectificó la placa base del módulo, la placa del alternador, la placa de desalineación y las bases de las chumaceras en un torno y fresadora de manera precisa para prevenir resultados erróneos al momento de adquisición de datos, donde se ensambló todos los elementos pertinentes para la adquisición de datos y estos son los siguientes: motor eléctrico, eje de transmisión de potencia, alternador, chumaceras, poleas, bandas. Se toma en cuenta que se tiene un templador para el alternador donde se pudo incrementar o disminuir la carga al motor según el trabajo que se aplique al alternador, de esta manera el tensado fue transmitido por medio de la banda, y esto fue controlado con el equipo de la calidad de la energía Fluke 435 II hasta llegar a una potencia optima de trabajo, preestablecida y calculada al 80 % de la carga nominal del motor.

Figura 26. Estructura del banco de la desalineación



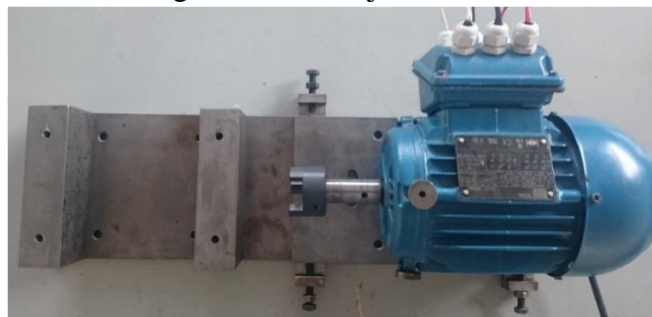
Fuente: Autores

3.6 Montaje del banco de pruebas.

El montaje del banco de pruebas fue ensamblado de forma sistemática con la finalidad de supervisar cada una de las partes que estén en perfectas condiciones.

- *Montaje del motor.* En la figura 27 se puede observar el ensamble de la placa base y de la placa de desalineación conjuntamente con las bases para las chumaceras de apoyo del eje de transmisión de potencia.

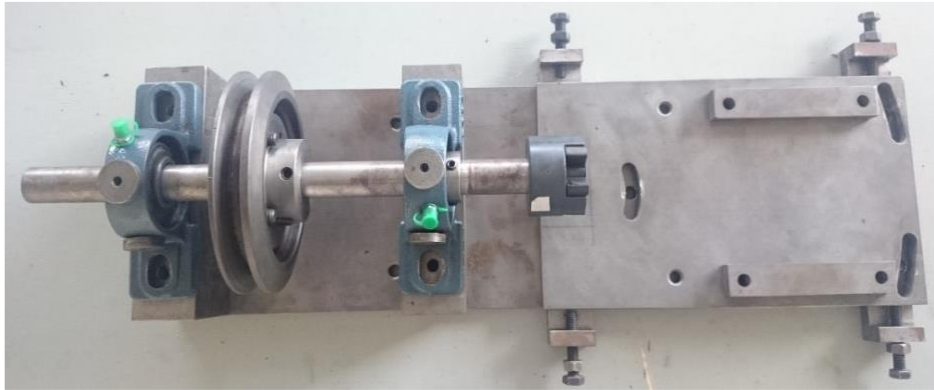
Figura 27. Montaje del motor



Fuente: Autores

- *Montaje de chumaceras y poleas en la placa base.* En la figura se observa el montaje de las chumaceras y poleas sobre los soportes que son anclados a la placa base.

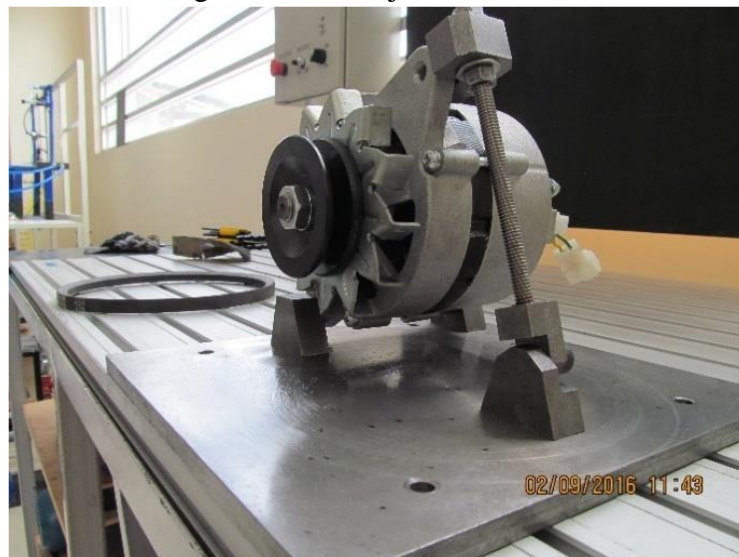
Figura 28. Montaje de chumacera y polea



Fuente: Autores

- *Montaje del alternador en su placa base.* En la figura observamos al alternador anclado a la placa base.

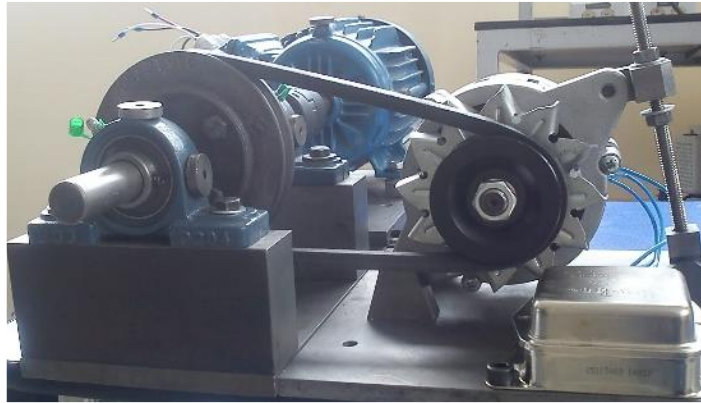
Figura 29. Montaje de alternador



Fuente: Autores

- *Ensamble de la banda sobre las placas base.* En la figura se observa el montaje de la correa en V A25 de forma correcta, en el banco de fallos de la desalineación tanto paralela como angular.

Figura 30. Montaje de la banda



Fuente: Autores

3.7 Comprobación del banco de pruebas.

Para comprobar el correcto funcionamiento del banco de pruebas de la desalineación se procedió a arrancarlo para poder presenciar que todos los elementos motrices estén funcionando correctamente y de esta manera no exista una presencia de ruido que nos pudo advertir de alguna anomalía, una vez arrancado el motor y comprobado el funcionamiento se procede con lo siguiente.

Para proceder a la adquisición de datos tanto de vibración como de potencia, el módulo no debe tener ningún grado desalineación, ya que si esto sucede se obtendrá datos erróneos en la desalineación progresiva, se alineó el alineador láser (OPTALING PLUS) ya que es de alta confiabilidad y muy conocido en el campo de la industria para la alineación de motores eléctricos, además por su sencilla forma de uso, los pasos a seguir para una correcta alineación son los siguientes:

1. Preparación del módulo de pruebas e introducción de las dimensiones
 - Observar al equipo y determinar el lado fijo y el lado móvil
 - Montamos las abrazaderas y ajustamos con las cadenas.
 - Colocamos el láser en el lado fijo y el reflector en el lado móvil.
 - Introducir las dimensiones que nos indica el alineador.

2. Medir

- Puntos, para que nos genere resultados
- Los resultados son tanto axiales y radiales
- El equipo genera de forma gráfica valores con los que se pueden trabajar, la pantalla muestra donde se debe alinear y cuanto se debe alinear estos valores son dados en mm.

Así, obtuvimos las siguientes gráficas generadas por el equipo de alineación láser OPTALING PLUS, las cual demuestra la corrección de cada una de las desalineaciones, estos valores ya están alineados y están acorde a la norma.

Figura 31. Alineación patas delantera



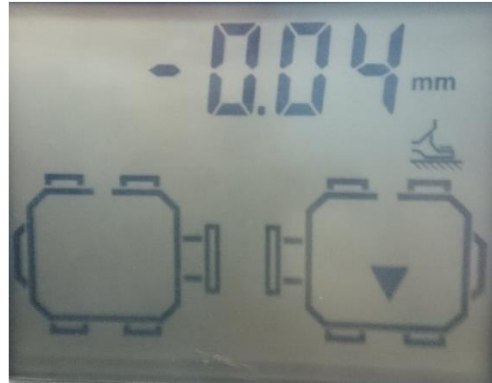
Fuente. Autores

Figura 32. Alineación patas posteriores



Fuente: Autores

Figura 33. Alineación patas delanteras



Fuente: Autores

Figura 34. Alineación patas posteriores



Fuente: Autores

CAPITULO IV

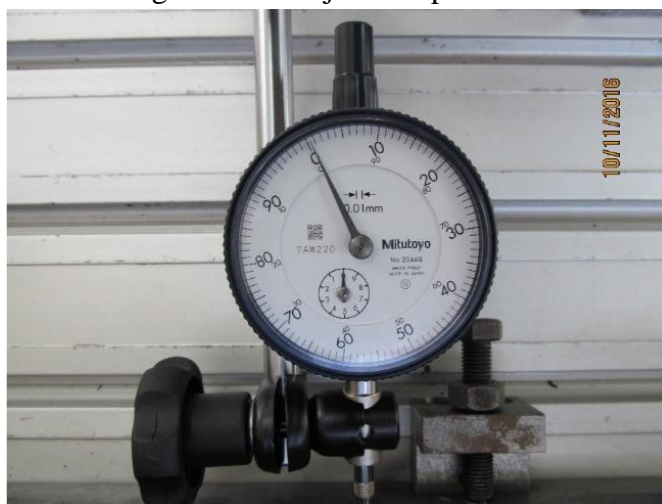
4. CALIBRACIÓN DE EQUIPOS Y OBTENCIÓN DE DATOS

4.1 Equipos de medición

Para poder realizar el estudio del banco de pruebas de la desalineación se utilizaron los siguientes equipos de medición:

4.1.1 *Relojes comparadores.* Para poder controlar la desalineación en milímetros se utilizó relojes comparadores o conocidos también como relojes palpadores, ver en la figura 35, para su mayor comprensión es un instrumento de medición que se encarga en medir, distancias entre cotas, transforma el movimiento rectilíneo a circular controlando dimensiones milimétricas, utiliza una base magnética para su estabilización para evitar lecturas erróneas.

Figura 35. Relojes Comparadores



Fuente: Autores

4.1.2 *Equipo de medición de vibraciones.* Se utilizó el equipo VIBRACHECK ABG 200 sus características se pueden apreciar en el Anexo C, el cual nos ayuda a la adquisición de datos y a visualizar los espectros provocados por la vibración, además aportó con el diagnóstico de valores en desplazamiento hasta los 10 Hz, velocidad hasta 1000 Hz y aceleración hasta 10000 Hz.

Los valores obtenidos fueron analizados con en el software MAINTraQ Viewer del mismo equipo conectándolo a un computador.

Figura 36. VIBRACHECK ABG 200



Fuente: Autores

4.1.3 *Equipo Fluke 435 II.* Es un equipo que nos sirve para el análisis de la calidad de la energía en donde se pudo visualizar y analizar todas las componentes del fluido eléctrico como potencia en el caso de nuestro estudio, sus características se las puede evidenciar en el Anexo D.

Figura 37. Equipo Fluke 435 II



Fuente: Autores

4.1.4 *Pinzas amperimétricas i5s.* Es un accesorio del equipo Fluke 435 II (calidad de la energía), sus características de alta sensibilidad ayudaron de manera precisa para el análisis del comportamiento de la potencia, motivo del estudio planteado.

Figura 38. Pinzas amperimétricas i5s



Fuente: Autores

4.2 Preparación del banco de pruebas para las mediciones.

El módulo de pruebas previo a la toma de mediciones de la severidad de la desalineación y de la potencia, debió estar ajustados a las exigencias de los analistas, como se mencionó anteriormente, el módulo se alineó con el alineador láser, además fue colocado junto al módulo de pruebas con un leve contacto los relojes comparadores para poder medir y controlar la desalineación tanto angular como paralela para el caso del análisis planteado, la velocidad fue medida mediante luz estroboscópica o un foto-tacómetro y la velocidad del motor fue controlada con un variador de frecuencia para manipular los rpm.

4.2.1 *Puntos de medición.* Los puntos de medición fueron basados en función al tipo de desalineación que se ha trazado para el estudio del presente proyecto de titulación, de forma axial para la desalineación angular y de forma radial para la desalineación paralela.

4.2.1.1 *Puntos de medición del Vibracheck 200 ABG.* Las ubicaciones de los acelerómetros fueron basadas en el manual del equipo y basándose en las cartas de Charlotte, determinando como apoyo el lado acoplado del motor ver en la figura 39.

- Movimiento vertical o radial (MV), desalineación paralela.

- Movimiento axial (MA), desalineación angular.

Los puntos de medición para el Vibracheck ABG 200 fueron escogidos de forma adecuada en los lugares más cercanos a los rodamientos, para ello se colocó 2 bases que fueron torneadas sus caras para que las bases magnéticas de los acelerómetros tengan el mayor contacto posible, de esta manera se adquirió lecturas claras y precisas, durante la adquisición de los espectros que nos proporcionó la información del nivel de vibraciones.

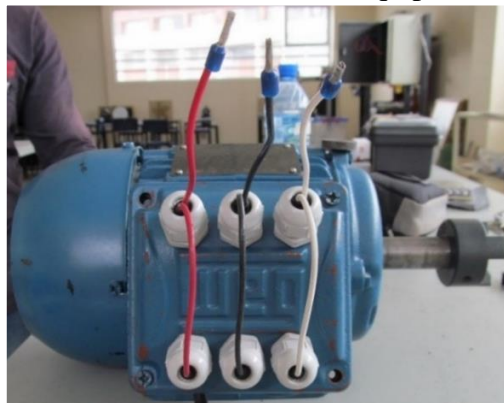
Figura 39. Puntos de medición para el Vibracheck 200 ABG.



Fuente: Autores

4.2.1.2 *Puntos de medición del equipo Fluke 435 II.* Para los puntos de medición del equipo Fluke 435 II se extrajó cables al exterior del motor, desde las borneras con el fin de tener las líneas de fase libres para la medición que facilitaron la toma de datos de la corriente véase en la figura 40.

Figura 40. Puntos de medición del equipo Fluke 435 II



Fuente: Autores

4.2.2 *Rangos de frecuencia y velocidad.* Se estableció tres niveles diferentes de velocidad y se pudo observar el comportamiento de la potencia y la severidad de la vibración en función a la desalineación, los rpm del motor eléctrico fueron controlados con un variador de frecuencia, cabe recalcar que el uso del variador de frecuencia no afecta en la toma de datos.

Tabla 9. Frecuencia vs Velocidad

Rangos	rpm	Hz
1	1730	60
2	1200	42.8
3	900	32.30

Fuente: Autores

4.2.3 *Datos y mediciones para la desalineación*

Para la desalineación angular se realizó cálculos para determinar el grado de desalineación que se le provocó, esto se logró con cálculos que se detallará a continuación:

$$1\text{mm} \longrightarrow 360^\circ$$

$$0,3\text{mm} \longrightarrow x=?$$

$$x = \frac{0.3 \text{ mm} * 360^\circ}{1\text{mm}} = 108^\circ$$

Con el dato obtenido que nos brinda la ecuación, se transformó los grados a mili-radianes.

$$\pi \text{ rad} \longrightarrow 180^\circ$$

$$X \longrightarrow 108^\circ$$

$$x = \frac{\pi \text{ rad} * 108^\circ}{180^\circ} = 1,88 \text{ rad}$$

Dónde:

π = constante de 180 rad

Como se requirió valores en mm rad se procedió a transformar.

$$X = (1,88 \text{ rad} * 1000 \text{ mm rad}) = 1884,9 \text{ mm rad}$$

Se obtuvo como resultado que cada 0,3mm de desalineación tiene la equivalencia de 108°, a su vez estos valores se los transformará a mm rad y equivale que cada 0,3 mm es igual a 1884,9 mm rad a continuación mostramos la tabla que manejaremos para la desalineación angular, así tenemos:

Tabla 10. Valores de desalineación equivalentes a grados

Número	Desalineación (mm)	Grados	mm rad
1	0,00	0	0
2	0,3	108	1,88
3	0,6	216	3,76
4	0,9	324	5,65
5	1,2	432	7,53
6	1,5	540	9,42
7	1,8	648	11,30
8	2,1	756	13,19
9	2,4	864	15,07
10	2,7	972	16,96
11	3,0	1080	18,84
12	3,3	1188	20,73
13	3,6	1296	22,61

Fuente: Autores

4.2.4 *Toma de medidas de la desalineación angular de 1730, 1200, 900 rpm.* Se empezó a trabajar con valores de 1,88 mm rad de desalineación en los diferentes rangos trazados y establecidos por los Autores, incrementando la desalineación de forma progresiva como se muestra en la tabla 10. Este proceso se realizó para todas las diferentes revoluciones. Con la utilización de los relojes palpadores se desalineó el motor hasta escuchar ruidos excesivos provocados por la misma desalineación, además se tomó en cuenta que la vibración global permitida fue 3,086 mm/s.

4.3 Toma de medidas de las intensidades del motor.

Para la velocidad de 1730 rpm se trabajó al 80% de la capacidad nominal del motor para establecer los valores se realizó el siguiente estudio.

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\phi$$

Ecuación 25

$$P = \sqrt{3} * 220 * 1,87 * \cos 0,72 = 513 \text{ W}$$

Los 513W representan al motor trabajando al 100% de su capacidad, para nuestro caso requerimos que el motor trabaje al 80% de su capacidad nominal, con el fin de que el motor trabaje a plena carga, para ello realizamos.

$$513 \text{ W} \longrightarrow 100\%$$

$$X \longrightarrow 80\%$$

$$x = \frac{80\% * 513W}{100\%} = 410,4 \text{ W}$$

Los 410,4 representa al motor a 80% de su carga nominal, con esta potencia trabajaremos para los 1730 rpm.

Para trabajar con revoluciones de 1200 rpm y la carga nominal de motor al 80% se realizaron los siguientes estudios.

$$P_m = \frac{T * rpm}{9550}$$

Ecuación 26

$$P = \frac{2,10 * 1200}{9550} = 0,263 \text{ Kw} = 263 \text{ W}$$

Donde:

Pm= Potencia Mecánica

T= torque

rpm= velocidad del motor

$$0,370 \text{ Kw m} \longrightarrow 0,26387 \text{ Kw m}$$

$$0,513\text{Kw} \longrightarrow X$$

$$x = \frac{0,513 \text{ Kw e} * 0,2638\text{Kw m}}{0,370 \text{ Kw m}} = 0,3658\text{Kw}$$

El valor obtenido representa al 100% de la potencia a 1200 rpm, para nuestro caso se requiere trabajar con el 80% de la potencia del motor dándonos un valor de 292,64 W.

Para la tercera medición que representa los 900 rpm se realizó el mismo proceso que se realizaron con anterioridad con las revoluciones anteriores, con 1200 rpm dándonos como resultados los siguientes valores, la potencia mecánica al 80%=0,1979 relacionando con la potencia eléctrica tenemos que al 80% el motor debe trabajar a 219,44 W.

4.4 Consumo energético paralelo para 900, 1200, 1730 rpm. Para las diferentes velocidades trazadas previamente se establecieron los parámetros respectivos de la desalineación, midiendo con las pinzas amperimétricas y el equipo de la calidad de la energía Fluke 435 II la corriente de cada fase del motor. En la tabla 11 se representará las medidas que se planificaron para la toma de datos, tanto en la desalineación angular como en la desalineación paralela del banco de pruebas. Los valores se establecieron al tipo de desalineación.

Tabla 11. Medidas de la desalineación paralela para el consumo energético.

NÚMERO (mm)	Desalineación paralela (mm)		
	900	1200	1730
0	0	0	0
0.3	0.3	0.3	0.3
0.6	0.6	0.6	0.6
0.9	0.9	0.9	0.9
1.2	1.2	1.2	1.2
1.5	1.5	1.5	1.5
1.8	1.8	1.8	1.8
2.1	2.1	2.1	2.1
2.4	2.4	2.4	
2.7	2.7		

Fuente: Autores

4.5 Consumo energético angular 900, 1200 y 1730 rpm Para las velocidades planteadas para realizar este estudio se establecieron parámetros de desalineación, midiendo el consumo energético de cada una de las fases que tiene el motor. En la tabla 12 se representó las medidas que se planificaron para la toma de datos en el banco de pruebas de la desalineación.

Tabla 12. Medidas de desalineación angular para el análisis del consumo energético

Número (mm)	Desalineación angular (mm rad)		Número (mm)	Desalineación angular (mm rad)
	900 rpm	1200 rpm		1730 rpm
0	0	0	0	0
0.3	1,384	1,384	0.4	1.668
0.6	2,77	2,77	0.8	3.341
0.9	4,158	4,158	1.2	5.017
1.2	5,548	5,548	1.6	6.696
1.5	6,939	6,939	2	8.380
1.8	8,332	8,332	2.4	10.053
2.1	9,727	9,727	2.8	11.749
2.4	11,124	11,124	3.2	13.453
2.7	12,522	12,522		
3	13,922	13,922		
3.3	15,324	15,324		
3.6		16,728		

Fuente: Autores

CAPITULO V

5. ESTUDIO Y ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

En el presente capítulo se muestra el estudio realizado al motor trifásico jaula de ardilla de ½ Hp marca WEG, sometido a las desalineaciones planteadas en el estudio, estas son paralela y angular el cual están sometidas a velocidades distintas y controladas en su totalidad, ya conocidas en capítulos anteriores.

Los datos estarán tabulados de tal modo que podamos observar de manera el espectro alineado y desalineado para poder compararlos, tanto en la desalineación paralela como angular, también expresaremos graficas de tendencia de la potencia vs la desalineación, vibración vs desalineación y potencia vs vibración con su respectiva tabla de valores aplicados a la vibración, estos datos van a estar evaluados en cada punto.

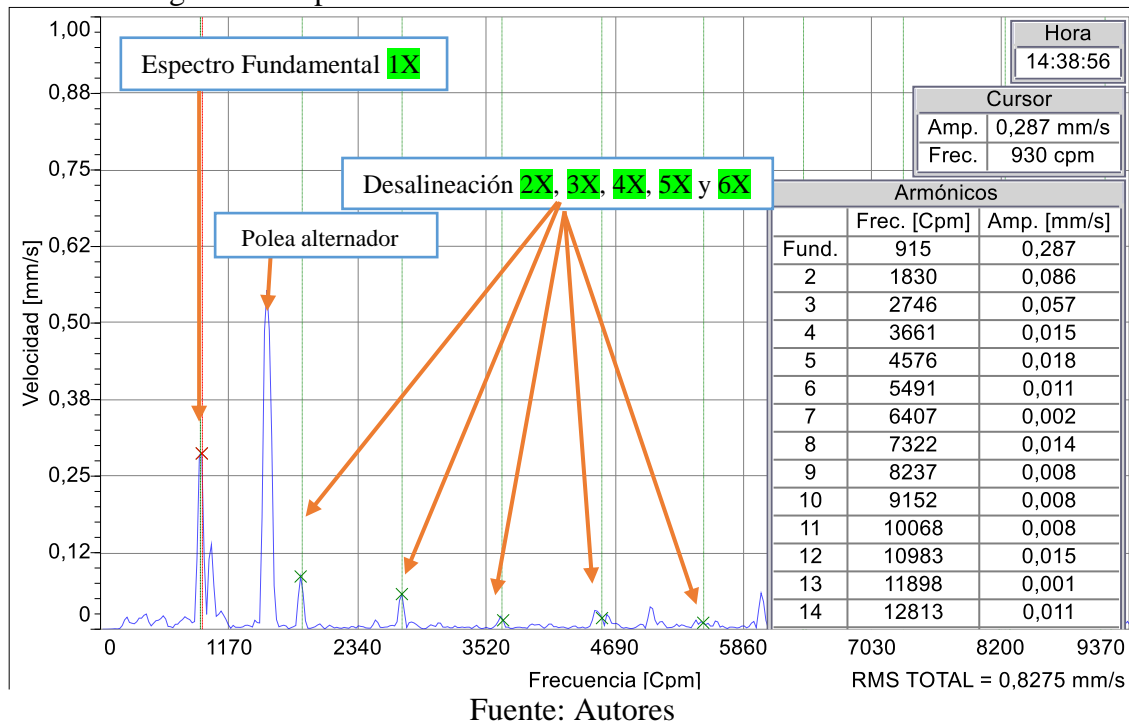
Se puede deducir simplemente que el incremento de la desalineación existirá mayor consumo energético, el trabajo de titulación demostrara la hipótesis planteada en el anteproyecto de titulación, para ello contaremos con gráficas y tablas que ayudarán a demostrar lo antes mencionado.

5.1 Desalineación del motor a 900 rpm angularmente.

5.1.1 *Desalineación angular.* Existe desalineación angular en el módulo de la desalineación ya que se diseñaron parámetros iniciales en donde se tomó en cuenta las líneas centrales imaginarias se cortan en un punto formando un ángulo, con ello se puede trabajar en este tipo de desalineación.

5.1.1.1 *Gráfica del espectro alineado a 900 rpm angular.* Para tomar un punto de referencia se procede a tomar el espectro de vibraciones en condiciones normales, es decir, el motor alineado correctamente. Se procede a registrar los valores que nos brinda el equipo de vibraciones ABG 200 para poder compararlo a medida que se proceda realizando la desalineación angular de forma controlada progresiva en el banco de pruebas.

Figura 41. Espectro de velocidad del motor alineado correctamente

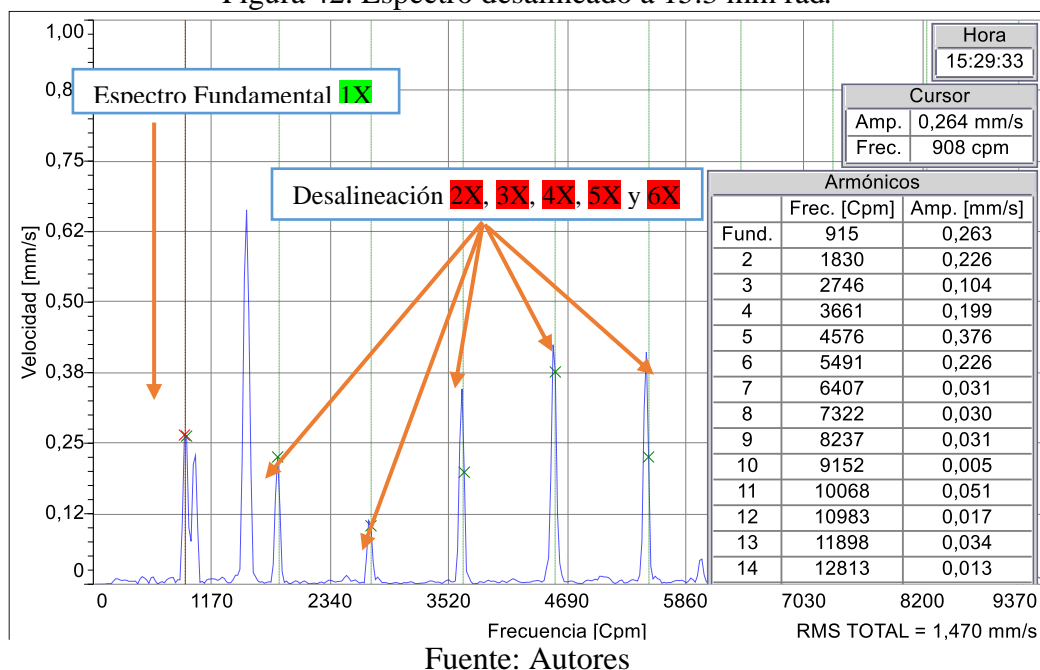


Nótese que el valor de 2X, 3X y 4X que representa al motor desalineado angularmente se encuentra en condiciones normales, es decir, son valores bajos que representan una correcta alineación del motor y esto representa un punto de referencia para empezar con la toma de datos, así que se procede con la toma de datos de la desalineación angular progresiva controlada de forma total, con la ayuda de los relojes comparadores se empieza a desalinearse.

5.1.1.2 *Gráfica del espectro desalineado a 15,3 mm rad.* En la figura 42 se muestra una desalineación angular de 15,3 mm rad que equivale a 3.3 mm, fue la máxima medida trabajada y que fue controlada, se usó el software MAINTraQ Analyzer 3.1. Se toma de referencia esta medida y como punto máximo de medición, ya que existe una presencia de ruido excesivo y esto impide que se siga desalineando por seguridad y para evitar posibles daños elevados, se procede a tomar en cuenta como última medida a 15,3 mm rad.

La desalineación angular siempre será medida con la ubicación de los acelerómetros de forma axial, ya que existe una mayor cantidad de vibración y podrá distinguirse los espectros medidos, puede compararse el fallo con la utilización de las cartas de Charlotte quien muestra los armónicos a elevarse.

Figura 42. Espectro desalineado a 15.3 mm rad.



Se determinó un incremento en los picos 2X, 3X, 4X que manejándonos con las cartas de Charlotte representan a la desalineación angular, esta valoración está dada por la alta presencia de vibración axial se puede demostrar el criterio visualizando los picos de 2x y 3x, además de la vibración global rms, comparar con la figura 41 sus respectivos armónicos.

5.1.1.3 *Tabla de valores de la desalineación vs rms a 900 rpm.* En la tabla se puede observar los datos obtenidos usando los valores rms.

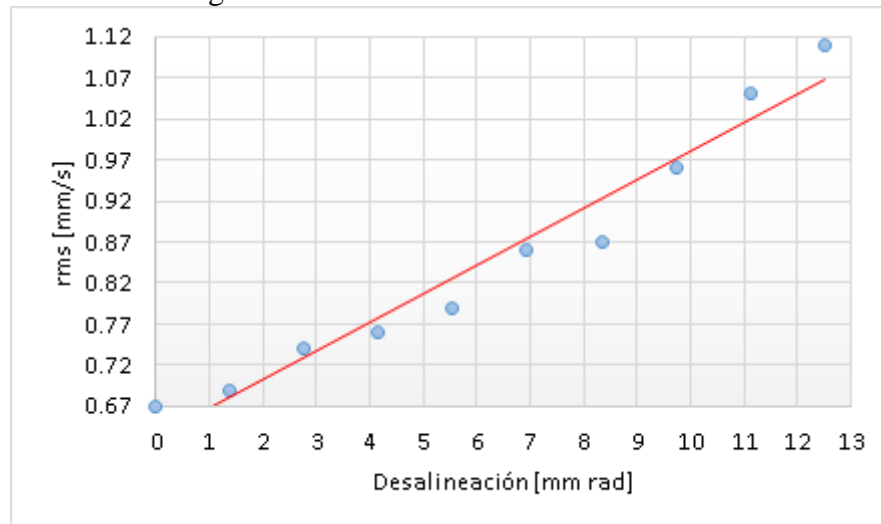
Tabla 13. Tabla de datos de la desalineación angular a 900 rpm

Numero de Medidas	Desalineación [mm rad]	Rms [mm/s]
		MA
1	0	0.67
2	1.38	0.69
3	2.77	0.74
4	4.16	0.76
5	5.55	0.79
6	6.94	0.86
7	8.33	0.87
8	9.73	0.96
9	11.12	1.05
10	12.52	1.11

Fuente: Autores

Con los valores obtenidos se procede a realizar la línea de tendencia, un gráfico de la vibración vs la desalineación progresiva con el fin de determinar la desalineación angular, ver en la figura 43.

Figura 43. Vibración MA vs desalineación



Fuente: Autores

5.1.1.4 *Regresión lineal 900 rpm angularmente.* Se procede a realizar el proceso de linealización utilizando el método de mínimos cuadrados para ajustar la recta obtenida anteriormente con los valores de la desalineación vs los rms.

Tabla 14. Datos de regresión lineal

Número	X	Y	X*Y	X ²	Y ²
1	1,38	0,67	0,92	1,90	0,45
2	2,77	0,69	1,91	7,67	0,48
3	4,16	0,74	3,08	17,31	0,55
4	5,55	0,76	4,22	30,80	0,58
5	6,94	0,79	5,48	48,16	0,62
6	8,33	0,86	7,16	69,39	0,74
7	9,73	0,87	8,47	94,67	0,76
8	11,12	0,96	10,68	123,65	0,92
9	12,52	1,05	13,15	156,75	1,10
10	13,92	1,11	15,45	193,77	1,23
11	15,32	1,30	19,92	234,70	1,69
SUMA	91,74	9,80	90,43	978,78	9,12
PROMEDIO	8,34	0,89	8,22	88,98	0,83

Fuente: Autores

Para ajustar la ecuación de mínimos cuadrados se realizan los siguientes cálculos:

$$b = \frac{n\sum x*y - \sum x*\sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad \text{Ecuación 27}$$

$$b = \frac{11 * (90,932) - (91,74) * (9,8)}{11 * (978,78) - (91,74)^2}$$

$$b=0,043$$

$$a = \frac{\sum y - b\sum x}{n} \quad \text{Ecuación 28}$$

$$a = \frac{9,8 - (0,043)(91,74)}{11}$$

$$a=0,53$$

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$Y = a + bX$$

Donde:

y= variable independiente

a= intersección con el eje y

x= variable dependiente

b= pendiente

$$Y = 0,53 + 0,043x \quad \text{Ecuación 29}$$

Una vez obtenida la ecuación que se ajusta a la gráfica, se procede a realizar la correlación para encontrar el valor de R^2 .

Error estándar estimado

$$Se = \sqrt{\frac{\Sigma y^2 - a\Sigma y - b\Sigma x*y}{n-2}} \quad \text{Ecuación 30}$$

$$Se = \sqrt{\frac{9,12 - 0,53(9,80) - 0,043(90,43)}{11 - 2}}$$

Se=0,064

Varianza de la variable separable

$$S_y^2 = \frac{\Sigma y^2}{n} - \bar{y}^2 \quad \text{Ecuación 31}$$

$$S_y^2 = \frac{9,12}{11} - (0,89)^2$$

$$S_y^2 = 0,037$$

Correlación

$$R^2 = 1 - \frac{S^2}{S_y^2} \quad \text{Ecuación 32}$$

$$R^2 = 1 - \frac{(0,064)^2}{0,037}$$

$$R^2 = 0,89$$

El grado de ajuste es elevado, lo que indica una alta fiabilidad de obtención de valores, que será la tolerancia de la desalineación angular para esta velocidad de 900 rpm.

5.1.1.5 *Tolerancia de la desalineación.* Se estableció parámetros según la norma ISO 10816-1, la cual clasifica a las máquinas según la potencia, nuestro módulo tiene una potencia de 3,7 Kw, el cual se encasilla en la clase I que se maneja con 0,71 rms.

Para encontrar el valor de tolerancia de la desalineación angular para nuestro banco de pruebas se reemplaza el valor de “y” de la ecuación que se ajusta a nuestros valores por 0,71 rms que nos brinda la norma, el objetivo de esto es porque el valor de la norma es el máximo admisible y se asume una alineación aceptable lo que elimina la constante.

$$Y = 0,53 + 0,043x$$

Donde:

y= tolerancia de desalineación

x=Desalineación (mm rad)

$$0,71 = 0,043(x) + 0 \quad \text{Ecuación 33}$$

$$x = \frac{0,71}{0,043} = 16,51 \text{ mm rad}$$

El valor que se encontró es nuestro estándar de tolerancia, significa que, en una desalineación angular a 900 rpm, es admisible 16,51 mm rad.

5.1.1.6 Comparación de la ecuación obtenida a 900 rpm. Una vez encontrada la ecuación $Y = 0,53 + 0,043x$ que se ajusta a la gráfica se puede deducir que el valor 0,53 significa que la tasa de crecimiento de la vibración, está basada en función de la desalineación, en este caso angular.

5.1.1.7 Relación de la potencia vs desalineación. La eficiencia del motor a estas revoluciones está dada al 80% a 219,44 W estos valores están dados en función a la potencia eléctrica que recibe el motor transformándola a potencia mecánica, el cual a mayor desalineación va a tener variaciones significativas, es decir, va a existir pérdidas por lo que la eficiencia de un motor nunca va a ser del 100%, es decir, existirán pérdidas por calor y otros.

Los valores van a ser directamente proporcionales, cuando mayor sea la desalineación la potencia se incrementará progresivamente.

Los valores medidos se presentarán en la tabla a continuación donde se verá el incremento de la potencia, cabe mencionar que no solo es potencia mecánica sino también contiene potencia reactiva (kW) y la potencia aparente total (kVA).

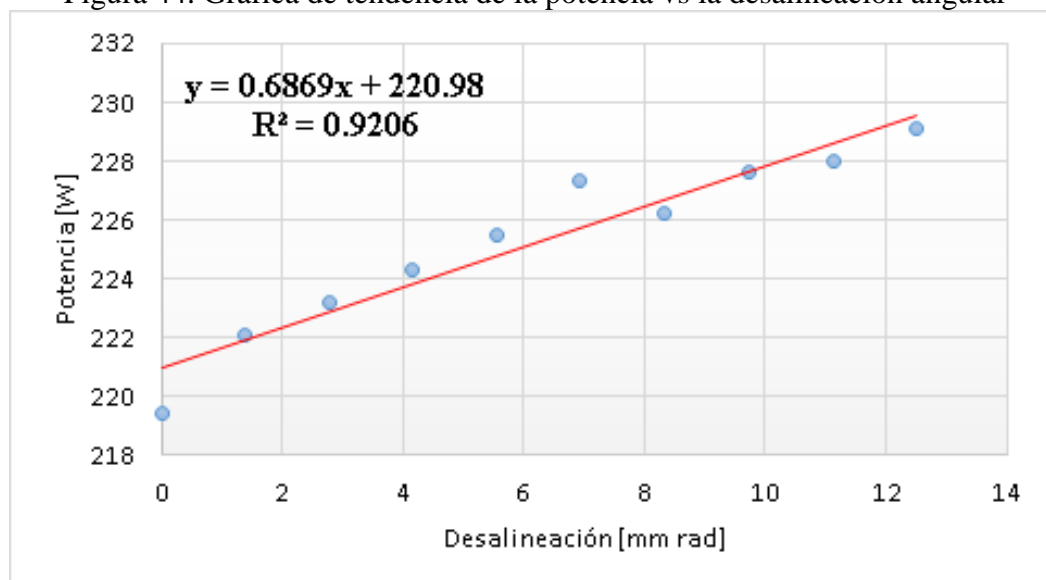
Tabla 15. Potencia vs Desalineación

Número	mm rad	Potencia [w]
1	0	219.44
2	1.38	222.1
3	2.77	223.2
4	4.16	224.3
5	5.55	225.5
6	6.94	227.3
7	8.33	226.2
8	9.73	227.6
9	11.12	228
10	12.52	229.1

Fuente: Autores

Con los valores obtenidos en la tabla se procede a realizar la gráfica de dispersión donde se plantea la potencia del motor en función a la desalineación angular controlada dada, la potencia es un valor que está relacionada directamente a la desalineación, se visualizara los valores de la ecuación que se ajusta a la gráfica y el nivel de correlación de la misma.

Figura 44. Gráfica de tendencia de la potencia vs la desalineación angular



Fuente: Autores

$$y = 0.6869x + 220.98$$

Ecuación 34

5.1.1.8 *Relación de los rms vs potencia.* Existe una estrecha relación influyente ya que la potencia se ve reflejada en la cantidad de vibración ya que cuando este se incrementa la potencia aumenta.

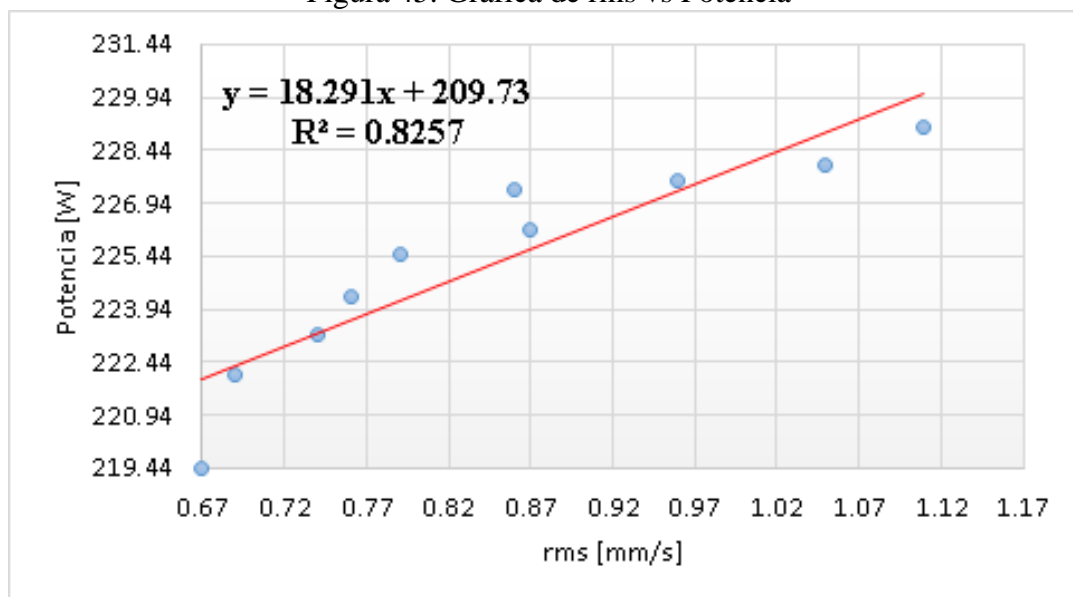
Tabla 16. Relación de la potencia vs rms

Numero	Potencia [w]	rms [mm/s]
1	219.44	0.67
2	222.1	0.69
3	223.2	0.74
4	224.3	0.76
5	225.5	0.79
6	227.3	0.86
7	226.2	0.87
8	227.6	0.96
9	228	1.05
10	229.1	1.11

Fuente: Autores

Una vez obtenido los valores que representan a la potencia y a los valores rms se procede a realizar la gráfica respectiva para tener mayor información y visualizar de mejor manera los resultados.

Figura 45. Gráfica de rms vs Potencia



Fuente: Autores

$$y = 18.291x + 209.73$$

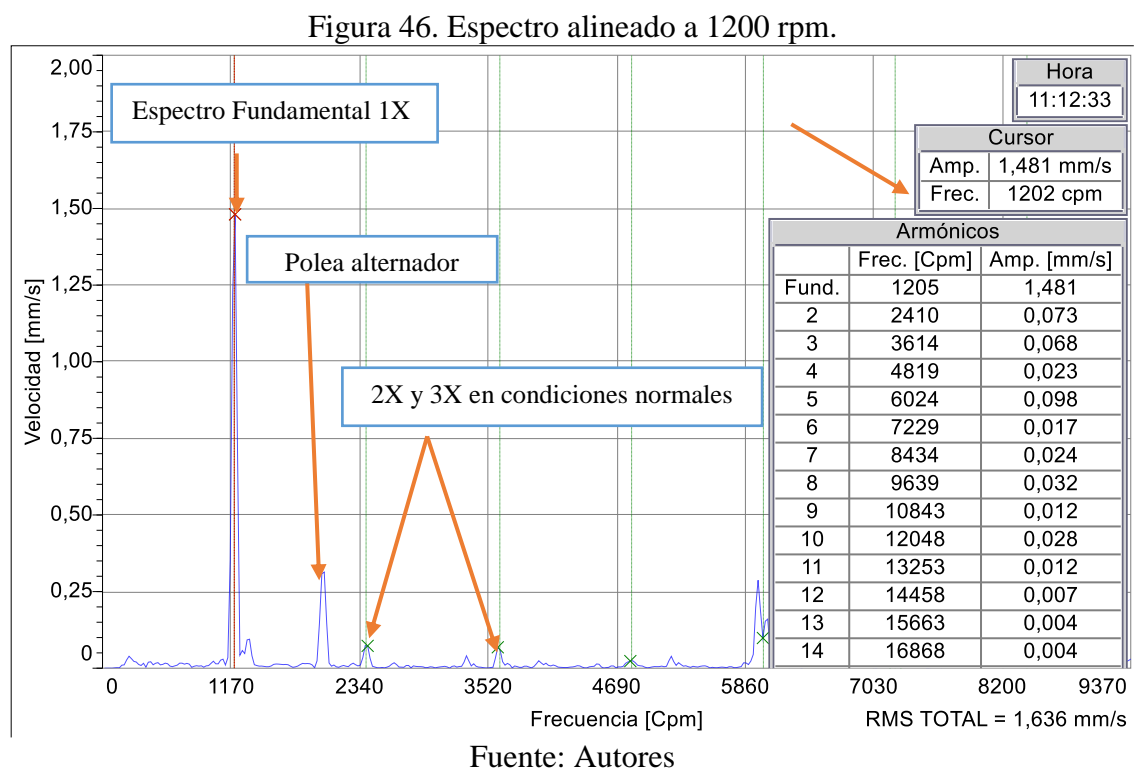
Ecuación 35

Se puede observar que la recta se ajusta, por lo que se puede definir que la potencia se incrementa de forma proporcional, es decir, a mayor desalineación se incrementarán los valores de potencia.

A medida que existe desalineación empieza a consumir mayor cantidad de potencia que a su vez representa costos directos a la operación.

5.1.2 Desalineación del motor a 1200 rpm

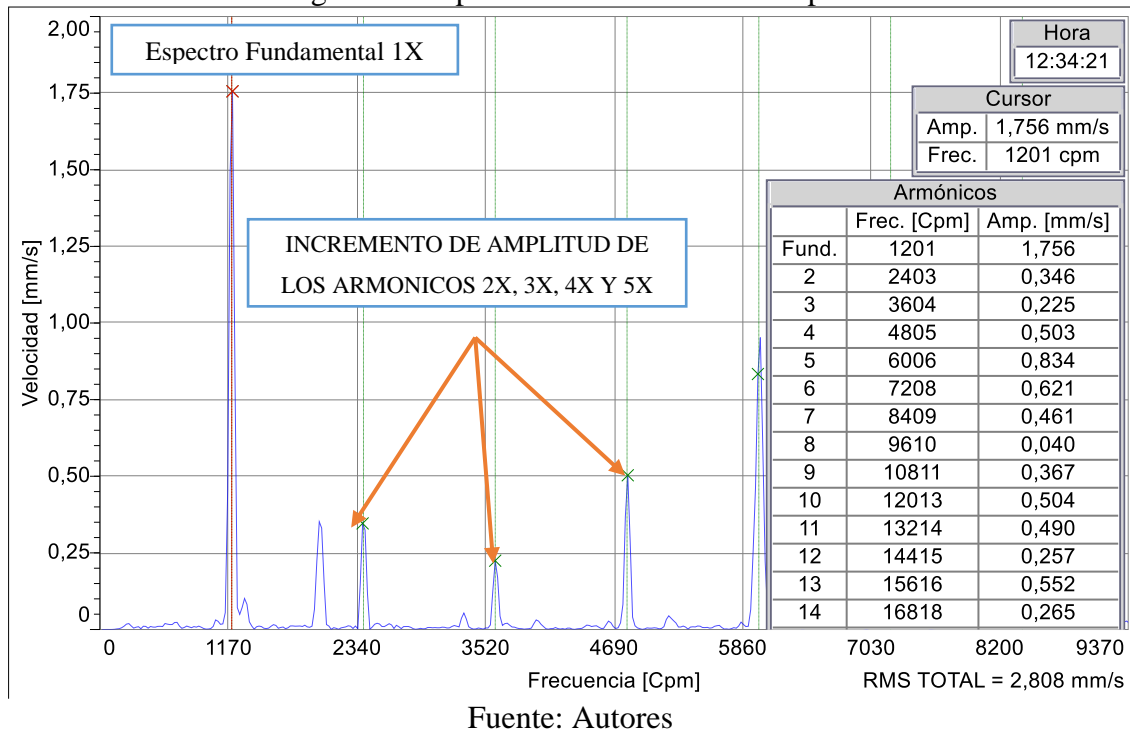
5.1.2.1 *Gráfica del espectro alineado.* Para tomar un punto de referencia se procede a tomar el espectro de vibraciones en condiciones normales, es decir, el motor alineado correctamente. Se procede a registrar los valores que nos brinda el equipo de vibraciones ABG 200 para poder compararlo a medida que se proceda realizando la desalineación angular controlada.



Los armónicos que representan a la desalineación angular en la gráfica, es el valor de 2X y 3X, los cuales se pueden visualizar que se encuentran en condiciones normales así, se comprueba por el análisis de vibraciones que se realizó al banco de pruebas respectivamente alineado.

5.1.2.2 *Gráfica del espectro desalineado.* Se ha procedido a desalinear el banco de pruebas a 3,6 mm, donde se produce alto ruido provocado por una alta vibración provocado por una desalineación excesiva.

Figura 47. Espectro desalineado a 1200 rpm.



Los armónicos de 2X, 3X y 4X muestran un crecimiento como se muestra en la figura 47 determinándonos que existe la desalineación angular, estos valores fueron tomados de forma axial.

El armónico 4x se visualiza que se encuentra en condiciones descontextualizadas fuera de la norma lo que incide en parar la desalineación de nuestro trabajo, ya que existe presencia de ruido exagerado.

El espectro de la fundamental crece de forma excesiva ya que se encuentra en resonancia con la mesa de trabajo, ya que esta no se encuentra anclada de forma correcta, por ende, el espectro se confunde con la fundamental.

Los valores se deben comparar con la gráfica del espectro alineado de la gráfica 46. Tomar en cuenta los armónicos de 2x y 3x.

5.1.2.3 *Tabla de valores de la desalineación angular a 1200 rpm.* Se procede a realizar las respectivas mediciones con los valores de desalineación planificados previamente, valores que se tabularon con el fin de graficarlos posteriormente para entender que cambios pueden tener mientras se realiza la desalineación progresiva.

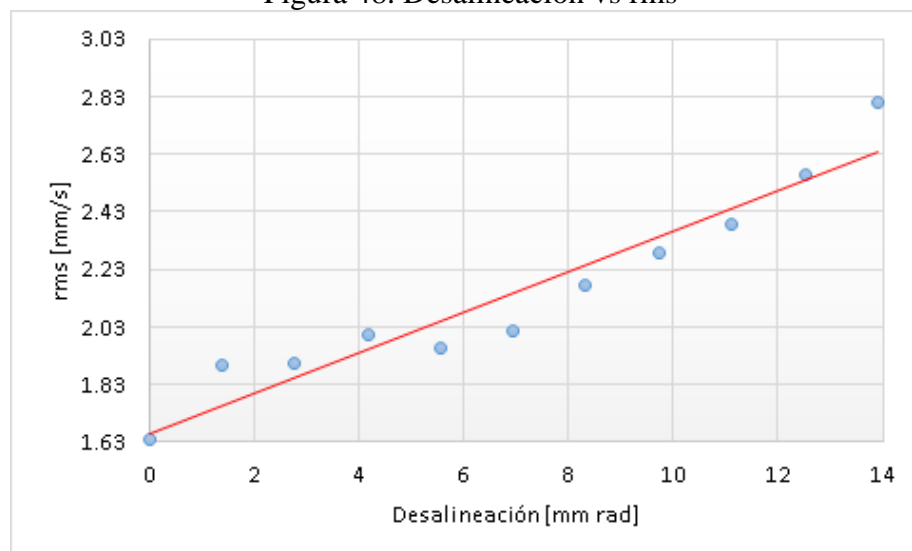
Tabla 17. Tabla de datos de la desalineación angular a 1200 rpm.

Numero de Medidas	Desalineación (mm rad)	Rms (mm/s)
		MA
1	0	1.636
2	1.38	1.896
3	2.77	1.901
4	4.16	2.006
5	5.55	1.959
6	6.94	2.015
7	8.33	2.175
8	9.73	2.285
9	11.12	2.386
10	12.52	2.56
11	13.92	2.808

Fuente: Autores

Se partió desde el motor alineado correctamente, con los valores obtenidos de la desalineación controlada en los que se trabajó, desde los 0 mm rad hasta 15,32 mm rad que representa 3,3 mm, se obtuvieron valores rms respectivos, que se procederá a graficarlos.

Figura 48. Desalineación vs rms



Fuente: Autores

5.1.2.4 *Regresión lineal a 1200 rpm angularmente.* Se procede a realizar la regresión lineal, utilizando la técnica de mínimos cuadrados, con los valores obtenidos en las respectivas tomas de datos de la desalineación vs rms.

Tabla 18. Datos de regresión lineal a 1200 rpm.

Número	MV	MA	X*Y	X*X	Y*Y
1	1,38	1,636	2,26	1,90	2,68
2	2,77	1,896	5,25	7,67	3,59
3	4,16	1,901	7,91	17,31	3,61
4	5,55	2,006	11,13	30,80	4,02
5	6,94	1,959	13,60	48,16	3,84
6	8,33	2,015	16,78	69,39	4,06
7	9,73	2,175	21,16	94,67	4,73
8	11,12	2,285	25,41	123,65	5,22
9	12,52	2,386	29,87	156,75	5,69
10	13,92	2,56	35,64	193,77	6,55
11	15,32	2,808	43,02	234,70	7,88
SUMA	91,74	23,63	212,03	978,78	51,89
PROMEDIO	8,34	2,15	19,28	88,98	4,72

Fuente: Autores

Para ajustar la ecuación de mínimos cuadrados se realizan los siguientes cálculos:

$$b = \frac{n\sum x*y - \sum x * \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad \text{Ecuación 36}$$

$$b = \frac{11 * (212,03) - (91,74) * (23,63)}{11 * (978,78) - (91,74)^2}$$

$$b=0,0699$$

$$a = \frac{\sum y - b\sum x}{n} \quad \text{Ecuación 37}$$

$$a = \frac{23,63 - (0,0699)(91,74)}{11}$$

$$a=1,565$$

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$Y = a + bX$$

Donde:

y= variable independiente

a= intersección con el eje y

x= variable dependiente

b= pendiente

$$Y = 1,565 + 0,0699x \quad \text{Ecuación 38}$$

Una vez obtenida la ecuación que se ajusta a la gráfica, se procede a realizar la correlación para encontrar el valor de R^2 .

Error estándar estimado

$$Se = \sqrt{\frac{\Sigma y^2 - a\Sigma y - b\Sigma x*y}{n-2}} \quad \text{Ecuación 39}$$

$$Se = \sqrt{\frac{51,89 - 1,56(23,63) - 0,0699(212,03)}{11 - 2}}$$

Se=0,15

Varianza de la variable separable

$$S_y^2 = \frac{\Sigma y^2}{n} - \bar{y}^2 \quad \text{Ecuación 40}$$

$$S_y^2 = \frac{23,63}{11} - (2,15)^2$$

60

$$S_y^2 = -2,47$$

Correlación

$$R^2 = 1 - \frac{S^2}{S_y^2} \quad \text{Ecuación 41}$$

$$R^2 = 1 - \frac{(0,15)^2}{-2,47}$$

$$R^2 = 0,9997$$

El grado de ajuste es elevado, lo que indica una alta fiabilidad de obtención de valores, que será la tolerancia de la desalineación angular para esta velocidad de 1200 rpm.

5.1.2.5 *Comparación de la ecuación obtenida a 1200 rpm.* Una vez encontrada la ecuación $Y = 1,565 + 0,0699x$ que se ajusta a la gráfica, se puede deducir que el valor 1,565 es la tasa de crecimiento de la vibración en función de la desalineación.

5.1.2.6 *Relación de la desalineación vs potencia a 1200 rpm.* Con los datos obtenidos en el módulo de pruebas procedemos a realizar la gráfica que relacionamos con el fin de determinar de mejor manera las variables planteadas.

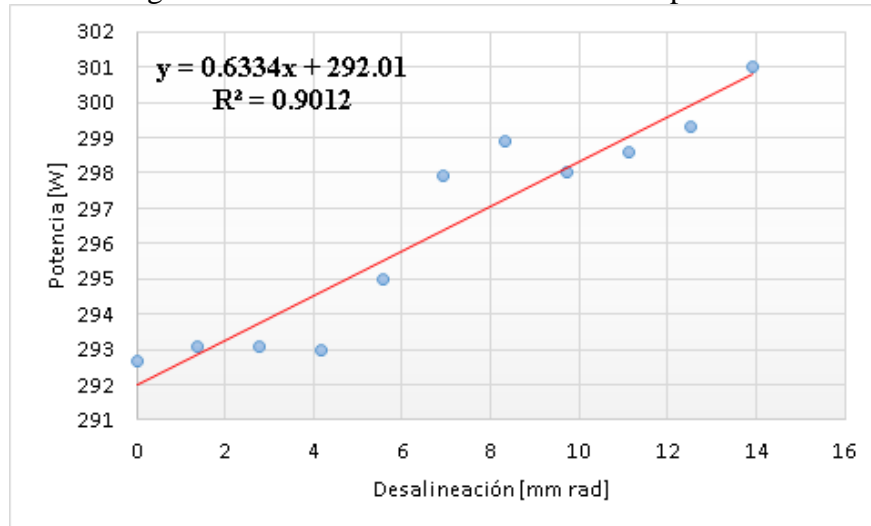
Tabla 19. Relación de desalineación vs potencia

Número	mm rad	Potencia[w]
1	0	292.64
2	1.38	293.1
3	2.77	293.1
4	4.16	293
5	5.55	295
6	6.94	297.9
7	8.33	298.9
8	9.73	298
9	11.12	298.6
10	12.52	299.3
11	13.92	301

Fuente: Autores

Con los valores obtenidos procedemos a realizar la gráfica de puntos donde visualizaremos la línea de tendencia y la ecuación respectiva, con lo que analizaremos la pendiente o correlación y la ecuación empírica.

Figura 49. Relación de la desalineación vs potencia



Fuente: Autores

$$y = 0.6334x + 292.01$$

Ecuación 41

5.1.2.7 *Relación de la rms vs potencia a 1200 rpm.* La eficiencia del motor a estas revoluciones está dada al 80% a 263 W, estos valores están dados en función a la potencia eléctrica que recibe el motor transformándola a potencia mecánica, el cual a mayor desalineación va a tener variaciones significativas.

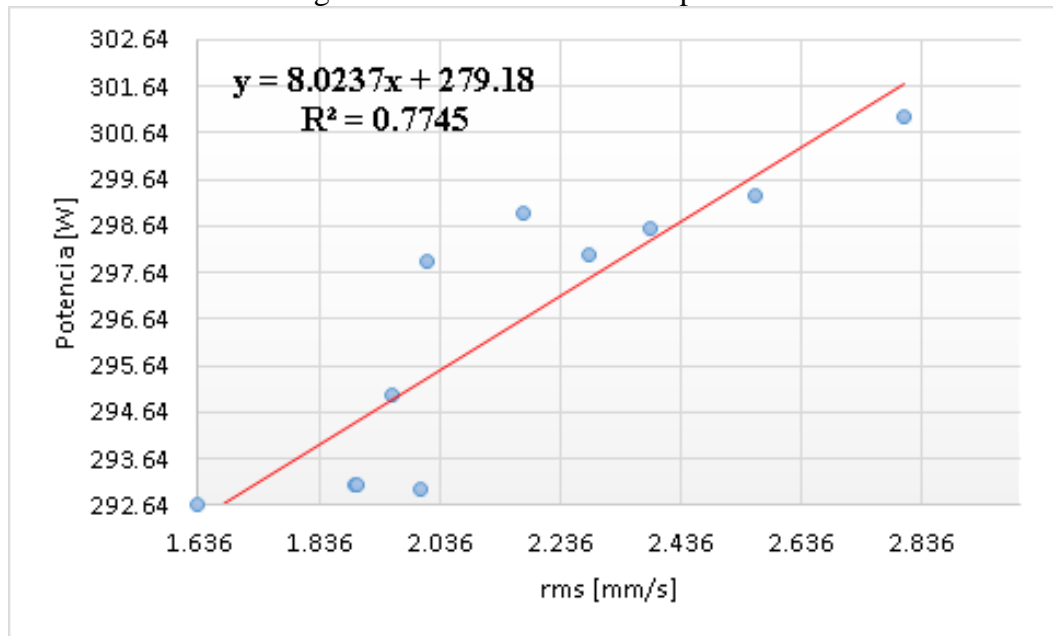
Tabla 20. Relación entre la potencia vs rms

Número	Potencia [w]	rms [mm/s]
1	292.64	1.636
2	293.1	1.896
3	293.1	1.901
4	293	2.006
5	295	1.959
6	297.9	2.015
7	298.9	2.175
8	298	2.285
9	298.6	2.386
10	299.3	2.56
11	301	2.808

Fuente: Autores

Los valores medidos se presentarán en la tabla 20 donde se verá el incremento de la potencia, cabe mencionar que no solo es potencia mecánica sino también contiene potencia reactiva (kW) y la potencia aparente total (kVA).

Figura 50. Relación de rms vs potencia



Fuente: Autores

$$y = 8.0237x + 279.18$$

Ecuación 42

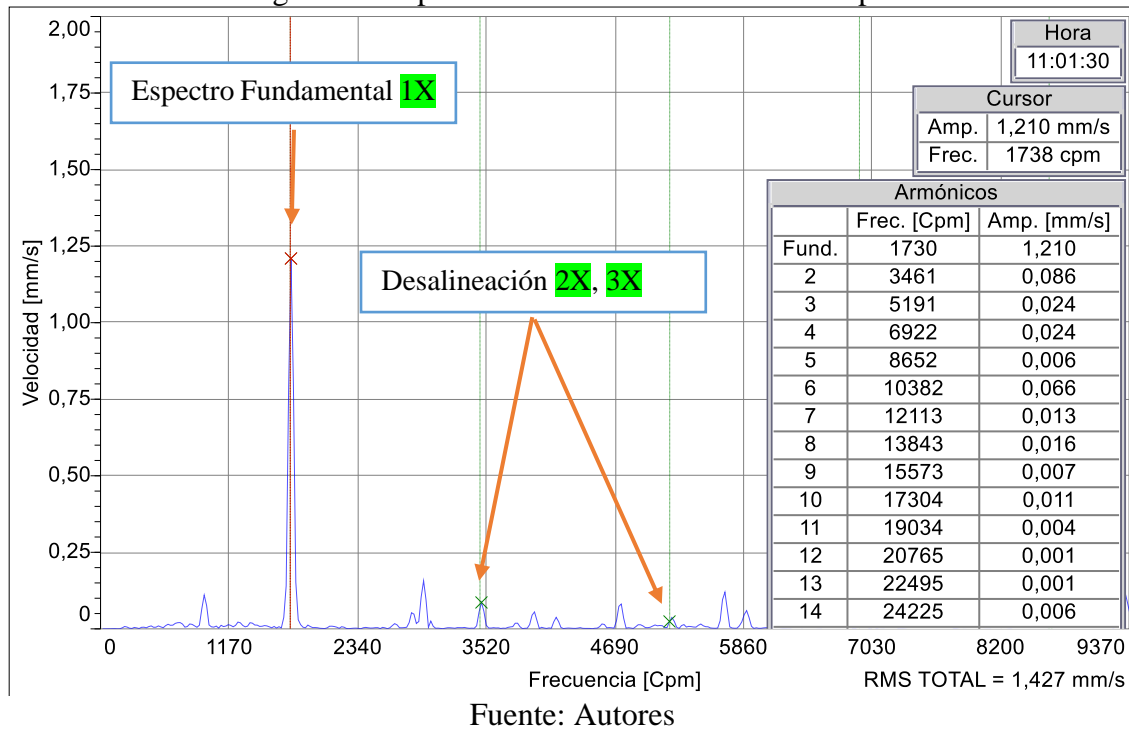
Se puede visualizar el incremento de la potencia en función de la vibración, esto quiere decir que a mayor vibración mayor potencia, se observa además que no se ajusta de manera alta la gráfica, es provocado porque el acople ya no está en óptimas condiciones.

5.1.3 Desalineación angular del motor a 1730 rpm.

5.1.3.1 Gráfica del espectro alineado a 1730 rpm. Para tomar un punto de referencia se procede a tomar el espectro de vibraciones en condiciones normales, es decir, el motor alineado correctamente, se garantiza la alineación ya que se trabajó con el equipo de alineación láser OPTALING PLUS. Se procede a registrar los valores que nos brinda el equipo de vibraciones Vibracheck ABG 200, se visualizara en velocidad que parte de 10 Hz a 1000 Hz para poder compararlo a medida que se proceda realizando la desalineación angular en el banco de pruebas.

La gráfica a obtenerse se verán valores normales según la norma ISO 10816-1 menores a 0,71 rms, característica de los motores de potencia bajas de 15 Hp, además se analizarán los valores de los picos 2x y 3x de los espectros.

Figura 51. Espectro del motor alineado a 1730 rpm



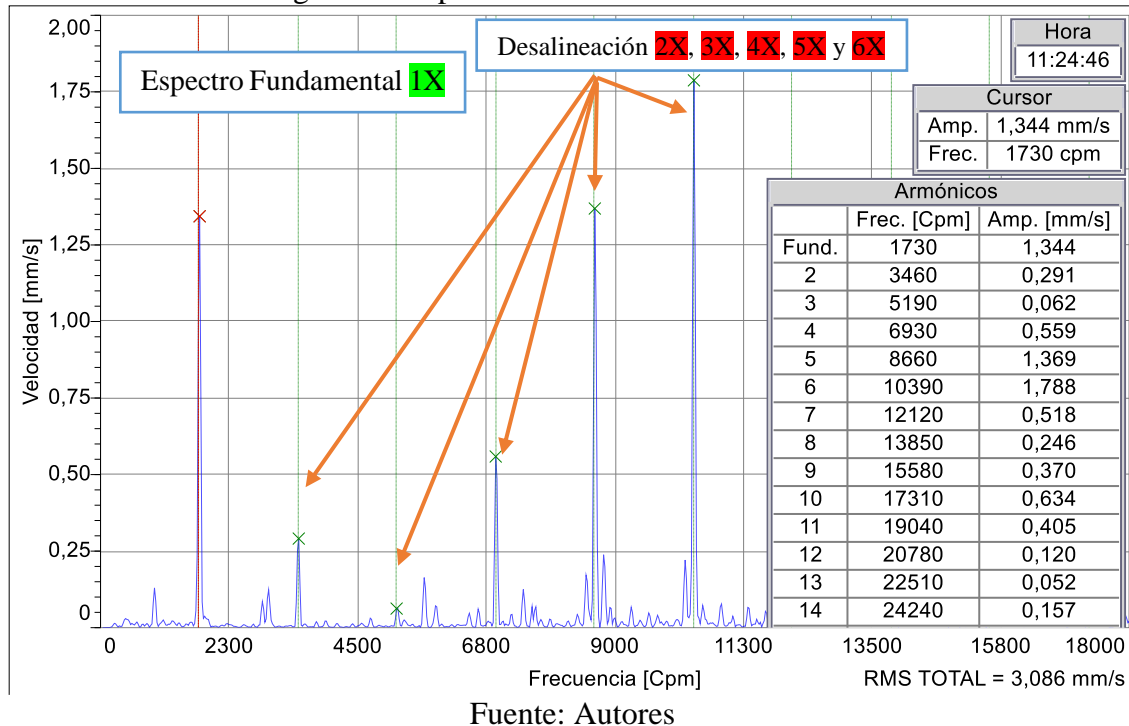
Nótese que el valor de 2X, 3X que representa al motor desalineado se encuentra en condiciones normales, es decir, se ajusta a la norma y esto representa un punto de referencia para empezar con la toma de datos, así que se procede con la desalineación angular progresiva controlada.

El armónico de la fundamental 1x esta elevado ya que se encuentra en resonancia con la mesa de trabajo ya que no se encuentra anclada a la perfección y esto provoca la existencia de resonancia.

5.1.3.2 *Gráfica del espectro desalineado a 13,45 mm rad a 1730 rpm.* En la figura 52 se muestra una desalineación angular de 15,3 mm rad que equivale a 3.2 mm, fue la máxima medida trabajada y que fue controlada, se usó el software MAINTraQ Analyzer 3.1. Se toma de referencia esta medida ya que existe una presencia de ruido excesivo en el módulo de la desalineación.

Los valores a incrementarse son los armónicos de 2x, 3x y 4x que deben representar a la desalineación angular los que se verán a continuación en la gráfica.

Figura 52. Espectro desalineado a 15.3 mm rad.



Se determinó un incremento en los picos 2x, 3x, 4x, 5x y 6x que manejándonos con una revista especializada de vibraciones como lo son las cartas de Charlotte representan a la desalineación angular.

Además, se puede acotar que se observa un pico en la frecuencia natural del motor el cual nos indica que probablemente existan frecuencias de banda o de la polea que son consecuencias propias de la desalineación, también miramos un armónico que representa a la polea del alternador.

Se puede comparar los valores dados y medidos en la desalineación angular a 1730 rpm con la figura 51 que se encuentra en condiciones normales, mirar los armónicos 1x, 2x, 3x y 4x que muestran variaciones elevadas.

5.1.3.3 *Tabla de valores de la desalineación angular a 1730 rpm.* En la tabla se puede observar los datos obtenidos usando los valores rms que nos brinda el equipo de vibraciones Vibracheck ABG 200, que posteriormente se usaran para la construcción de

las gráficas que son objeto de estudio. Se manejó un conjunto de datos porque nos ayudan a analizar el comportamiento de la desalineación angular.

La relación está dada en la desalineación en valores mm rad y la vibración está dada en valores de mm/s.

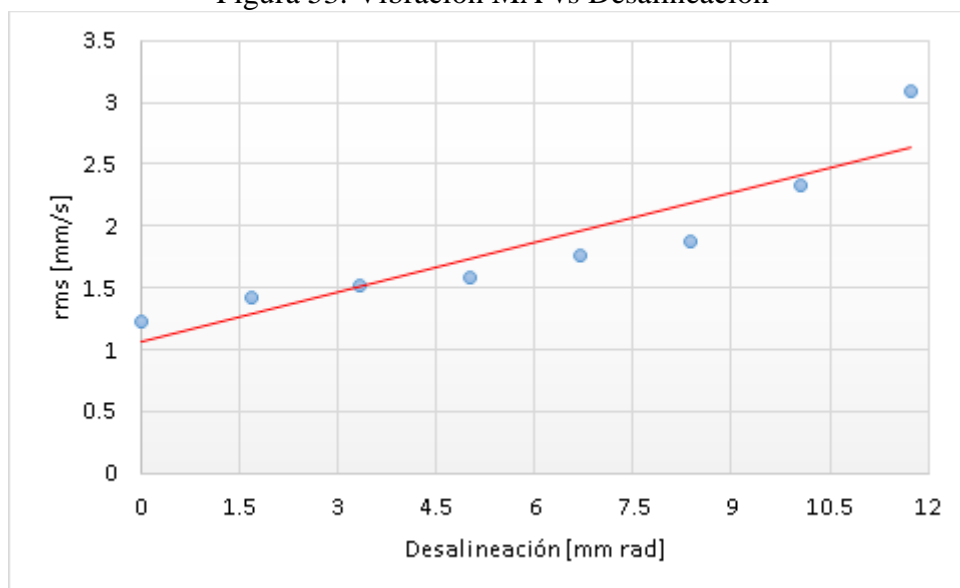
Tabla 21. Desalineación angular vs rms

Numero de Medidas	Desalineación (mm rad)	Rms (mm/s)
		MA
1	0	1.227
2	1.668	1.419
3	3.341	1.521
4	5.017	1.584
5	6.696	1.762
6	8.38	1.876
7	10.053	2.332
8	11.749	3.086

Fuente: Autores

Con los valores obtenidos se procede a realizar la gráfica con lo que se podrá obtener la línea de tendencia y la ecuación empírica de la Vibración vs la desalineación progresiva con el fin de determinar la desalineación angular, ver en la figura 53.

Figura 53. Vibración MA vs Desalineación



Fuente: Autores

5.1.3.4 *Regresión lineal a 1730 rpm angularmente.* Con los valores obtenidos de la toma de datos de la desalineación vs el valor rms, realizaremos la regresión lineal, con el fin de visualizar el ajuste que de la gráfica y su respectiva tendencia de la misma y encontrar la ecuación empírica donde podremos determinar el nivel de la desalineación en función de la vibración.

Tabla 22. Datos de regresión lineal

Número	X	Y	X*y	X*X	Y*Y
1	1,668	1,227	2,05	2,78	1,51
2	3,341	1,419	4,74	11,16	2,01
3	5,017	1,521	7,63	25,17	2,31
4	6,696	1,584	10,61	44,84	2,51
5	8,38	1,762	14,77	70,22	3,10
6	10,053	1,876	18,86	101,06	3,52
7	11,749	2,332	27,40	138,04	5,44
8	13,453	3,086	41,52	180,98	9,52
SUMA	60,36	14,81	127,56	574,26	29,93
PROMEDIO	5,49	1,35	11,60	52,21	2,72

Fuente: Autores

Para ajustar la ecuación de mínimos cuadrados se realizan los siguientes cálculos:

$$b = \frac{n\sum x*y - \sum x * \sum y}{n\sum x^2 - (\sum x)^2} \quad \text{Ecuación 43}$$

$$b = \frac{8 * (127,56) - (60,36) * (14,81)}{8 * (574,26) - (60,36)^2}$$

$$b=0,1331$$

$$a = \frac{\sum y - b\sum x}{n} \quad \text{Ecuación 44}$$

$$a = \frac{14,81 - (0,1331)(60,36)}{8}$$

$$a=0,84$$

Reemplazando los valores en la ecuación tenemos:

$$Y = a + bX$$

Donde:

y= variable independiente

a= intersección con el eje y

x= variable dependiente

b= pendiente

$$Y = 0,84 + 0,1331x \quad \text{Ecuación 45}$$

Una vez obtenida la ecuación que se ajusta a la gráfica, se procede a realizar la correlación para encontrar el valor de R^2 .

Error estándar estimado

$$Se = \sqrt{\frac{\Sigma y^2 - a\Sigma y - b\Sigma x*y}{n-2}} \quad \text{Ecuación 46}$$

$$Se = \sqrt{\frac{29,93 - 0,84(14,81) - 0,1331(127,56)}{8 - 2}}$$

$$Se=0,2919$$

Varianza de la variable separable

$$S_y^2 = \frac{\Sigma y^2}{n} - \bar{y}^2 \quad \text{Ecuación 47}$$

$$S_y^2 = \frac{29,93}{8} - (1,35)^2$$

$$S_y^2 = 1,919$$

Correlación

$$R^2 = 1 - \frac{S^2}{S_y^2} \quad \text{Ecuación 48}$$

$$R^2 = 1 - \frac{(0,2919)^2}{1,919}$$

$$R^2 = 0,96$$

El grado de ajuste es elevado, lo que indica una alta fiabilidad de obtención de valores, que será la tolerancia de la desalineación angular para esta velocidad de 1730 rpm.

Tenemos un gran ajuste y correlación, se puede denotar que la ecuación encontrada es aceptable.

5.1.3.5 Tolerancia de la desalineación a 1730 rpm. Se estableció parámetros según la norma ISO 10816-1, la cual clasifica a las maquinas según la potencia, nuestro módulo tiene una potencia de 3,7 kW, el cual se encasilla en la clase I que se maneja con una tolerancia de 0,71 rms.

Para encontrar el valor de tolerancia de la desalineación angular para nuestro banco de pruebas se reemplaza el valor de “y” de la ecuación que se ajusta a nuestros valores por 0,71 RMS que nos brinda la norma, el objetivo de esto es porque el valor de la norma es el máximo admisible y se asume una alineación ideal lo que elimina la constante.

$$Y = 0,84 + 0,1331x$$

Donde:

y= tolerancia de desalineación

x=Desalineación (mm rad)

$$0,71=0,1331(x)+0$$

Ecuación 49

$$x = \frac{0,71}{0,1331} = 5,334$$

El valor que se encontró es nuestro estándar de tolerancia, significa que, en una desalineación angular a 1730 rpm, es admisible 5,331 mm rad.

5.1.3.6 Comparación de la ecuación obtenida a 1730 rpm. Una vez encontrada la ecuación $Y = 0,84 + 0,1331x$ que se ajusta a la gráfica se puede deducir que el valor 0,84 es la tasa de crecimiento de la vibración en función de la desalineación.

5.1.3.7 Relación de la potencia vs desalineación a 1730 rpm. La eficiencia del motor a estas revoluciones está dada al 80% a 410 W estos valores están dados en función a la potencia eléctrica que recibe el motor transformándola a potencia mecánica el cual a mayor desalineación va a tener variaciones significativas, es decir, va a existir pérdidas por lo que la eficiencia de un motor nunca va a ser del 100%.

Los valores medidos se presentarán en la tabla a continuación donde se verá el incremento de la potencia, cabe mencionar que no solo es potencia mecánica sino también contiene potencia reactiva (kW) y la potencia aparente total (kVA).

Tabla 23. Desalineación vs potencia a 1730 rpm

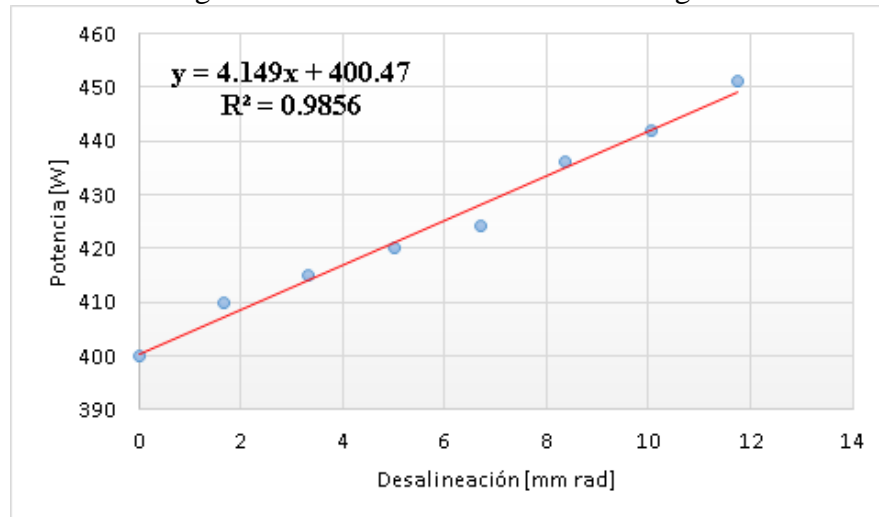
Desalineación mm rad	Potencia [w]
0	400
1.668	410
3.341	415
5.017	420
6.696	424.2
8.38	436.2
10.053	442
11.749	451

Fuente: Autores

Con los valores obtenidos en la tabla se procede a realizar la gráfica de dispersión donde se plantea la potencia del motor en función a la desalineación angular controlada

establecida, la potencia es un valor que está relacionada directamente proporcional a la desalineación a mayor vibración mayor potencia.

Figura 54. Potencia vs desalineación angular



Fuente: Autores

$$y = 4.149x + 400.47$$

Ecuación 50

5.1.3.8 *Relación de los rms vs potencia.* Existe una variación significativa ya que la potencia se estabiliza a 392,2 W, es decir, no hay cambios la correlación es baja puesto que existe un cambio en el comportamiento de la potencia.

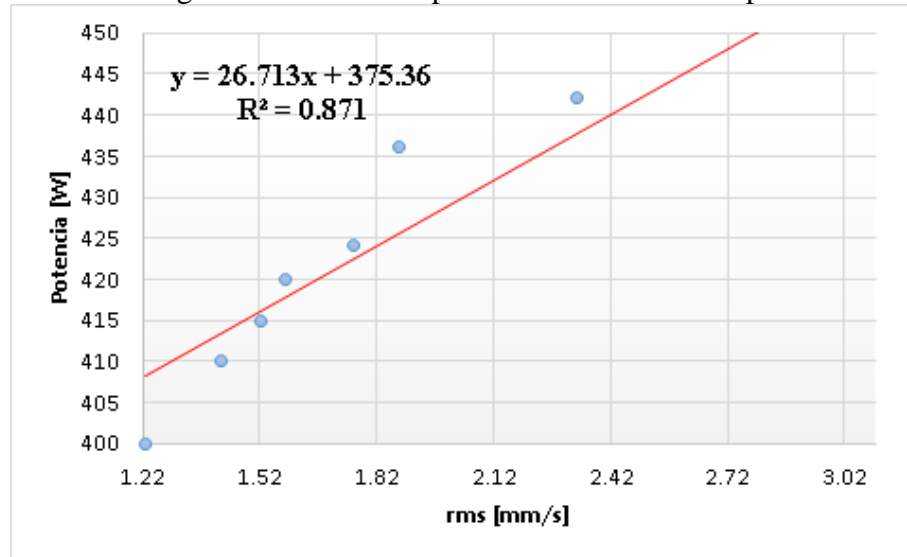
Tabla 24. Relación de la potencia vs rms a 1730 rpm

rms [mm/s]	Potencia [w]
1.227	400
1.419	410
1.521	415
1.584	420
1.762	424.2
1.876	436.2
2.332	442
3.086	451

Fuente: Autores

Una vez obtenido los valores que representan a la potencia y a los valores rms se procede a realizar la gráfica respectiva para tener mayor información y visualizar de mejor manera los resultados, se procede a obtener la línea de tendencia, la ecuación empírica y el valor de la correlación lineal.

Figura 55. Gráfica de potencia vs rms a 1730 rpm



Fuente: Autores

$$y = 26.713x + 375.36$$

Ecuación 51

Se puede observar que la recta se ajusta, por lo que se puede definir que la potencia se incrementa de forma proporcional, es decir, a mayor desalineación se incrementaran los valores de potencia.

5.2 Desalineación paralela del motor eléctrico.

La desalineación paralela está determinada por la no coincidencia de las líneas centrales de los ejes, tanto del motor y del eje de transmisión de potencia, para el experimento planteado se procedió a desalinear al motor con respecto de los soportes fijos, procediendo a desalinear de esta manera al motor, para lo cual se parte de un punto de referencia, que consta del motor eléctrico alineado correctamente.

5.2.1 Frecuencias perceptibles en el análisis del diagnóstico a 900 rms. Dentro del análisis que se efectuó, se presentaron armónicos ajenos al estudio, estos armónicos analizados previamente corresponden a los componentes del módulo de pruebas con la banda, la del alternador, en la siguiente tabla se detalla los armónicos que se encuentran presente al análisis de los espectros de desalineación paralela.

Las revoluciones establecidas están dadas en las gráficas tanto de los espectros alineados como los espectros de la desalineación del motor de forma paralela.

Tabla 25. Frecuencias perceptibles en las gráficas a 900 rpm paralelo.

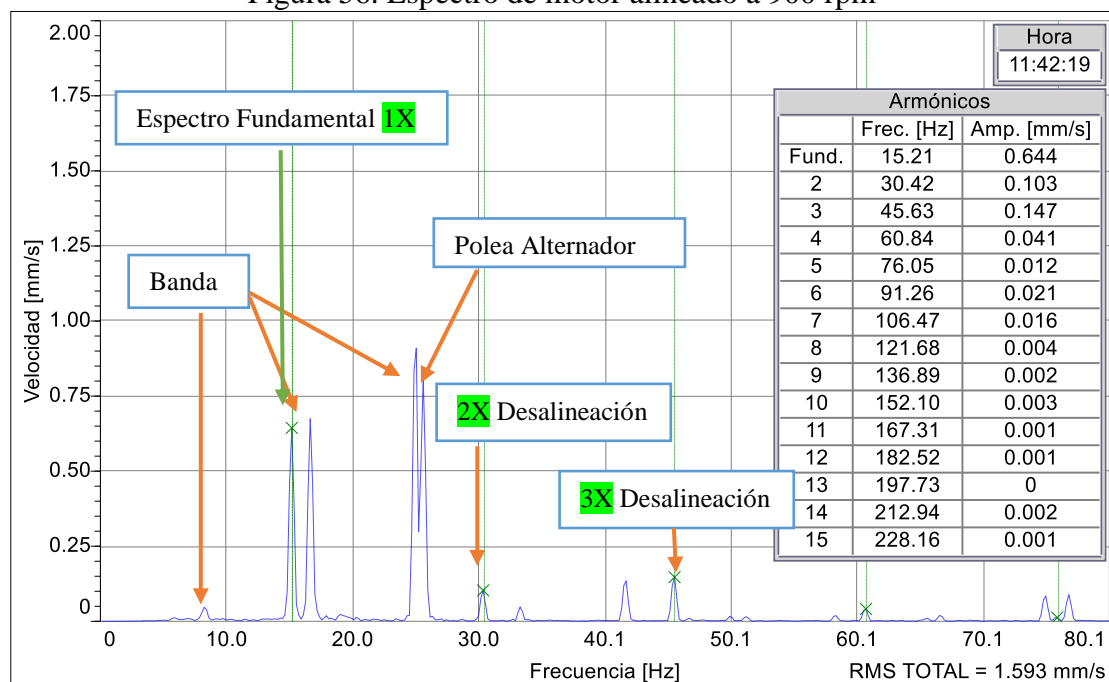
900 rpm		
Denominación	cpm	Hz
Frecuencia fundamental	900	15
BPFO	2880	48.00
BPMF	4320	72.00
FTF	360	6.00
BSF	1656	27.60
Fb	534.38	8.91
Polea grande	900	15.00
Polea alternador	1514	25.23

Fuente: Autores

5.2.2 *Desalineación paralela a 900 rpm motor alineado.* Para poder realizar el ensayo planteado en capítulos anteriores tiene el motor eléctrico que estar perfectamente alineado, esto se puede evidenciar en la siguiente gráfica, tomando como referencia los análisis en las Cartas de Charlotte.

5.2.2.1 *Motor alineado con una velocidad de 900 rpm paralelo.* En la presente gráfica se puede evidenciar con mayor claridad de cómo está ajusta la alineación del motor bajo las Cartas de Charlotte los armónicos que se presentan adicionales a estos son de los elementos constituyentes del motor y/o banco de pruebas.

Figura 56. Espectro de motor alineado a 900 rpm

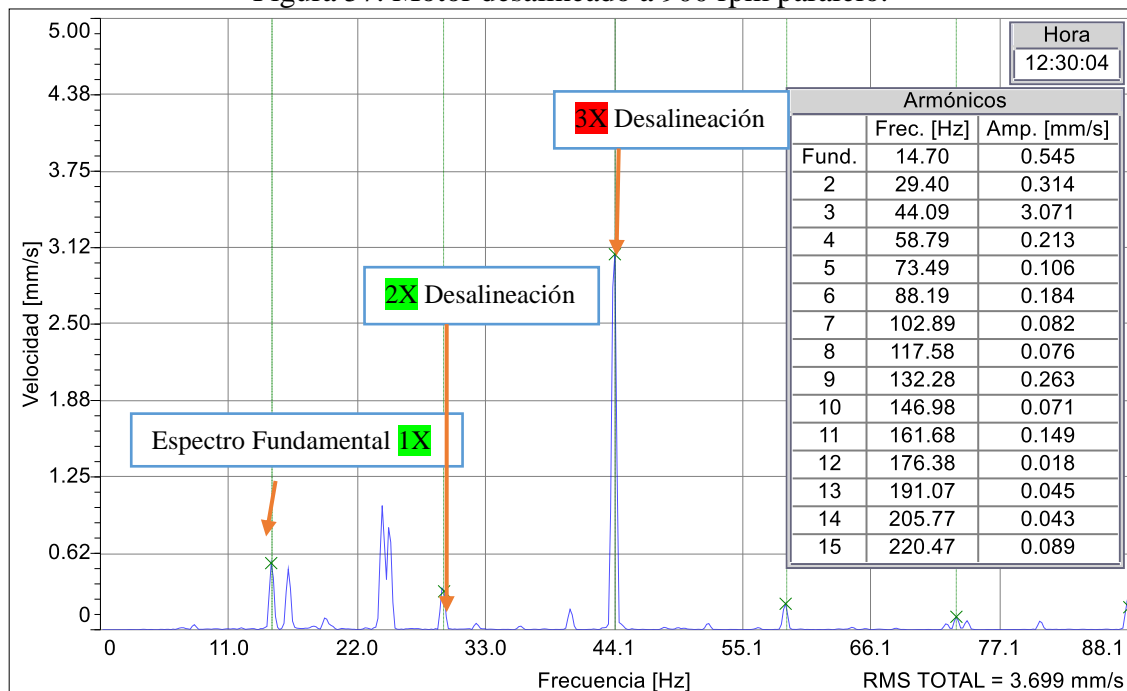


Fuente: Autores

Como podemos notar los espectros de desalineación que en este caso son 2X y 3X para el caso de desalineación paralela no superan al eje fundamental que viene a ser el 1X (15.21Hz) como indica las Cartas de Charlotte, esto es con una velocidad de 900 rpm, cabe recalcar que anteriormente existió una alineación exacta para poder trabajar con una condición ideal.

5.2.2.2 *Máxima desalineación alcanzada a 3 mm a 900 rpm.* La desalineación máxima alcanzada es de 3mm, es la máxima desalineación que se puede simular al tratarse de la desalineación paralela de un ensayo experimental a través de un equipo simulador construido didácticamente, el objetivo de medir los espectros bajo estas condiciones es analizar la dinámica de los espectros característicos de falla correspondientes a la desalineación, con la idea de notar cual es la variación en función al aumento de falla aplicada.

Figura 57. Motor desalineado a 900 rpm paralelo.



Fuente: Autores

Como se puede observar en el gráfico, es notorio el crecimiento del espectro designado para la delineación paralela por las Cartas de Charlotte en este caso el 3X, con una amplitud de 1.593 mm/s que es superior a cuando el motor está alineado y de manera drástica eleva el valor de rms total = 3,699 mm/s, la misma que mediante la norma ISO-

10816-1 es insatisfactoria lo cual necesita intervención inmediata, antes de que ocurran los fallos.

5.2.2.3 *Valores de desalineación vs rms.* En la siguiente tabla se muestran los valores de desalineación paralela en rms que es evidenciado con ayuda del software MAINTraQ Analyzer 3.1, que se obtuvo a cada 0.3 mm con los relojes palpadores, dichas medidas servirán para realizar las gráficas en cuanto a la desalineación y a la potencia consumida y/o derrochada por el motor eléctrico.

Se puede evidenciar un valor rms (1,593 mm/s) con el motor alineado, esto se justifica que debido a la frecuencia fundamental y a las frecuencias de los elementos que constituyen el módulo de pruebas.

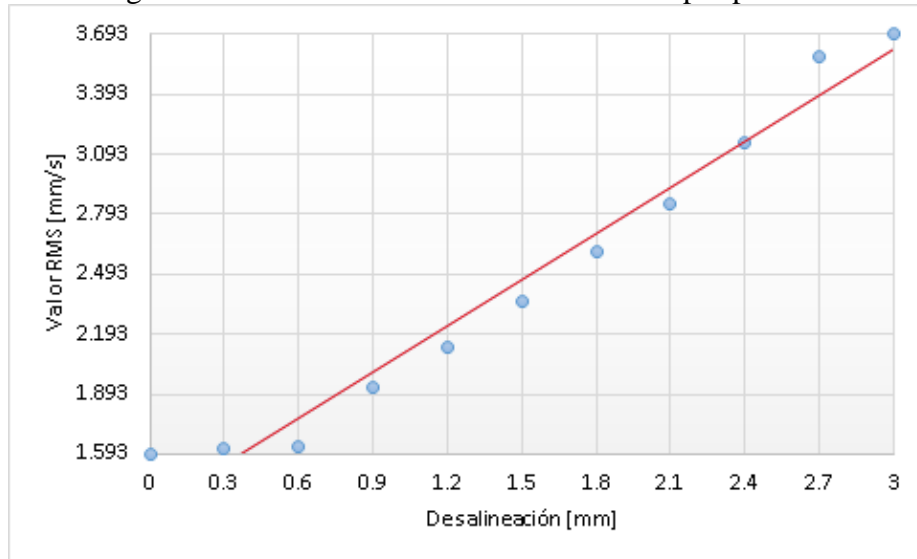
Tabla 26. Desalineación vs rms

VELOCIDAD A 900 rpm		
ITEM	Desalineación [mm]	Valor rms [mm/s]
		MV
1	0	1.593
2	0.3	1.617
3	0.6	1.627
4	0.9	1.926
5	1.2	2.13
6	1.5	2.36
7	1.8	2.601
8	2.1	2.848
9	2.4	3.152
10	2.7	3.578
11	3	3.699

Fuente: Autores

5.2.2.4 *Gráfica de vibración vs desalineación a 900 rpm paralelo.* Como se puede comprobar en la siguiente tabla el valor de rms crece de forma progresiva en cuanto la desalineación incrementa su valor, esto está demostrado a continuación en el siguiente gráfico.

Figura 58. Vibración vs desalineación a 900 rpm paralelo.



Fuente: Autores

5.2.2.5 *Regresión lineal de la vibración vs desalineación.* En la gráfica anterior se puede observar el crecimiento que es directamente proporcional la desalineación con el nivel de rms, mismo que se ajusta para la obtención de la curva mediante por el método de mínimos cuadrados, que a continuación se desarrollará.

Ecuación de la recta

$$y = ax + b$$

Ecuación 34

Tabla 27. Regresión lineal vibración vs desalineación a 900 rpm paralelo.

ITEMS	X	Y	$(Xi-\bar{X})$ $(Yi-\bar{Y})$	$(Xi-\bar{X})^2$	$(Yi-\bar{Y})^2$
1	0	1.593	1.310	2.250	0.763
2	0.3	1.617	0.485	0.090	2.615
3	0.6	1.627	0.976	0.360	2.647
4	0.9	1.926	1.733	0.810	3.709
5	1.2	2.13	2.556	1.440	4.537
6	1.5	2.36	3.540	2.250	5.570
7	1.8	2.601	4.682	3.240	6.765
8	2.1	2.848	5.981	4.410	8.111
9	2.4	3.152	7.565	5.760	9.935
10	2.7	3.578	9.661	7.290	12.802
11	3	3.699	11.097	9.000	13.683
SUMATORIA	16.5	27.13	49.59	36.90	71.14
PROMEDIO	1.5	2.466			

Fuente: Autores

Para el cálculo de la pendiente utilizamos la siguiente forma

$$a = \frac{\sum(Xi - \bar{X})(Yi - \bar{Y})}{\sum(Xi - \bar{X})^2} \quad \text{Ecuación 52}$$

$$a = \frac{49.39}{36.90}$$

$$a = 1.33$$

Es la tasa de crecimiento de la vibración que está basada en función a la desalineación

Para hallar la intersección de la ordenada en y utilizamos la ecuación siguiente

$$b = \bar{Y} - (a)(\bar{X})$$

$$b = 2.466 - 1.33 * 1.5$$

$$b = 0.471$$

Es la cantidad de vibración existente.

Remplazando los valores en la ecuación tenemos

$$Y = 1.33x + 0.471 \quad \text{Ecuación 53}$$

Luego de haber obtenido la ecuación de la recta con los valores de la desalineación y la vibración para determinar el grado de ajuste del modelo se realiza la correlación para encontrar al valor de R^2 con la siguiente Fórmula.

$$R^2 = \frac{\sum(Xi - \bar{X})(Yi - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(Xi - \bar{X})^2 \sum(Yi - \bar{Y})^2}} \quad \text{Ecuación 54}$$

$$R^2 = \frac{49.59}{\sqrt{36.90 * 71.14}}$$

$$R^2 = 0.967$$

El valor de R^2 es cercano al cien por ciento, eso nos indica que tiene una alta fiabilidad de la obtención de valores, que más adelante será utilizada como la tolerancia de desalineación paralela para la velocidad de 900 rpm.

5.2.2.6 Tolerancia de desalineación del motor a 900 rpm. De acuerdo con la norma ISO 10816-1, que nos indica el nivel máximo admisible bajo el criterio de desalineación medidos en rms para la operación de las máquinas, mismas que entran en esta norma por la razón de tener la potencia establecida en dicha norma (3.7 kW), ajustándose a la clase I (potencias menores de 15 kw) y con una aceptación buena en vibraciones de 0.71 rms (mm/s).

Para obtener el valor de “y” reemplazamos el valor máximo admisible de tolerancia establecido en la norma que es de 0.71 rms para el motor analizado, y se asume una alineación ideal para ello se elimina la constante “b”, dicho esto la Fórmula quedaría de la siguiente manera.

$$y = 1.33x + 0.471$$

Donde:

y: nivel de vibración máximo de tolerancia

x: desalineación

$$0.71 = 1.33(x) + 0$$

Despajando x tenemos

$$x = \frac{0.71}{1.33}$$

$$x = 0.533$$

Como se puede notar, el valor de $X = 0.533$ mm es el estándar de tolerancia establecido para nuestro caso con una velocidad en el motor de 900 rpm y una potencia eléctrica al 80% de 219.44 W ideal para esta velocidad.

5.2.2.7 *Desalineación vs potencia eléctrica a 900 rpm.* De acuerdo con los cálculos establecidos en el capítulo III la potencia eléctrica ideal al 80% para la velocidad de 900 rpm es de 219.44 W, esta potencia ajustada previamente con la ayuda del equipo de eficiencia energética (FLUKE 435 II), está en condiciones de optima alineación, lo que quiere decir que idealmente no existe pedidas por desalineación ni por otros factores, la misma que nos servirá de guía para ver su comportamiento en cuanto avance los niveles de desalineación posterior.

En la siguiente tabla se detalla el comportamiento de la potencia en cuanto avanza la desalineación.

Tabla 28. Desalineación vs potencia a 900 rpm paralelo.

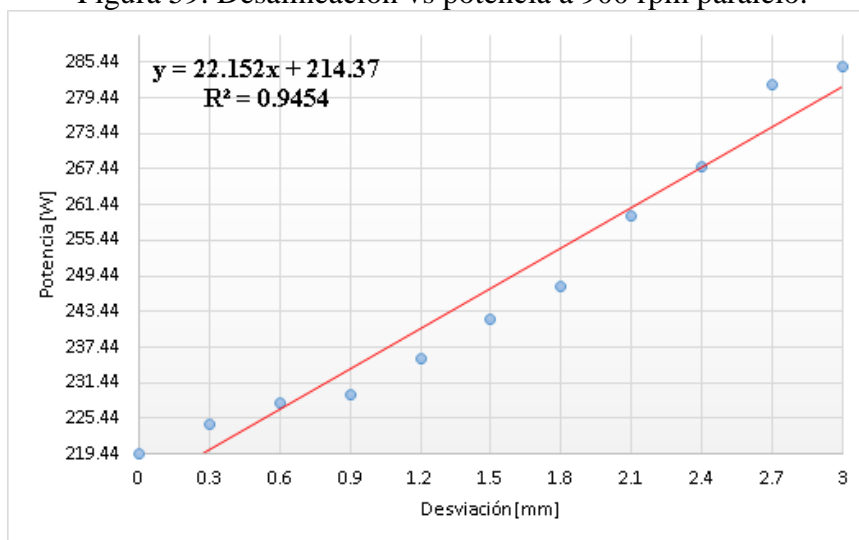
VELOCIDAD A 900 rpm		
ITEM	Desalineación [mm]	Potencia [W]
1	0	222.6
2	0.3	224.5
3	0.6	228.1
4	0.9	229.3
5	1.2	235.5
6	1.5	242.2
7	1.8	247.7
8	2.1	259.5
9	2.4	267.8
10	2.7	281.7
11	3	284.7

Fuente: Autores

Con los valores obtenidos se realiza la gráfica de dispersión correspondiente a la desalineación paralela, que nos indica como es el comportamiento de la potencia en base a la desalineación controlada progresiva.

La gráfica presenta un ajuste elevado, donde pudimos encontrar la ecuación empírica y vemos un valor elevado de correlación que llega a 94%

Figura 59. Desalineación vs potencia a 900 rpm paralelo.



Fuente: Autores

$$y = 22.152x + 214.37$$

Ecuación 55

Como se puede evidenciar el comportamiento de la potencia en función a la desalineación es de forma proporcional, mientras incrementa la desalineación se observa como incrementa la potencia de manera progresiva.

5.2.2.8 *Potencia vs rms a 900 rpm.* Cuando la desalineación existe entre el eje y el motor eléctrico, mismo que garantiza estas mediciones porque fueron realizados bajo equipos confiables, obviamente dentro de los parámetros previamente establecidos.

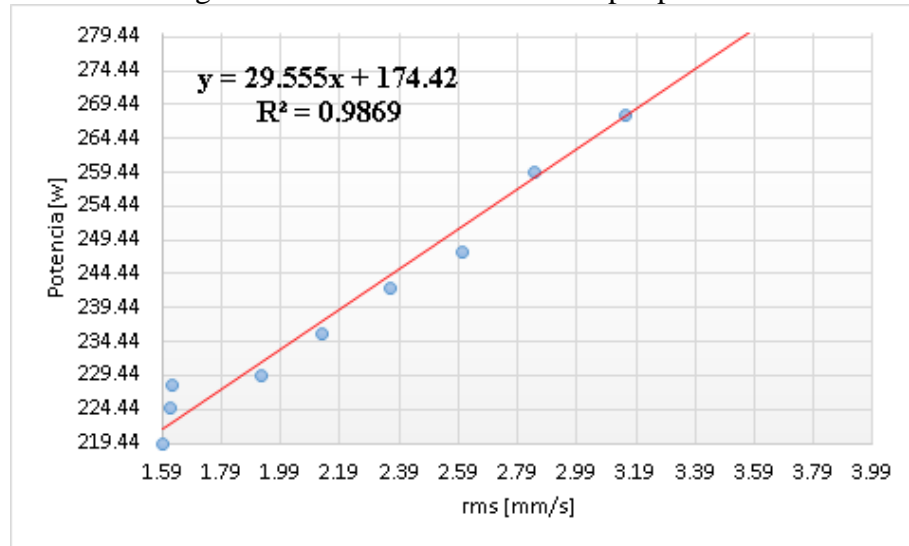
Tabla 29. Potencia vs rms a 900 rpm paralelo.

VELOCIDAD A 900 rpm		
ITEM	rms [mm/s]	Potencia (W)
1	1.593	219.44
2	1.617	224.5
3	1.627	228.1
4	1.926	229.3
5	2.13	235.5
6	2.36	242.2
7	2.601	247.7
8	2.848	259.5
9	3.152	267.8
10	3.578	281.7
11	3.699	284.7

Fuente: Autores

Con la siguiente tabla se construirá la gráfica de dispersión para demostrar que es directamente proporcional el valor de la potencia consumida medible a el valor RMS de la severidad de la desalineación.

Figura 60. Potencia vs rms a 900 rpm paralelo.



Fuente: Autores

$$y = 29.555x + 174.42$$

Ecuación 56

Con la gráfica siguiente se puede tomar la potencia y mediante el dato se puede estimar el valor RMS existente en el motor eléctrico, y realizar la acción pertinente.

5.2.3 *Análisis de la vibración y de la potencia con una velocidad de 1200 rpm.* En la siguiente tabla se detalla los armónicos que se encuentran anexados al análisis de los espectros de desalineación.

Tabla 30. Frecuencias presentes en el estudio a 1200 rpm.

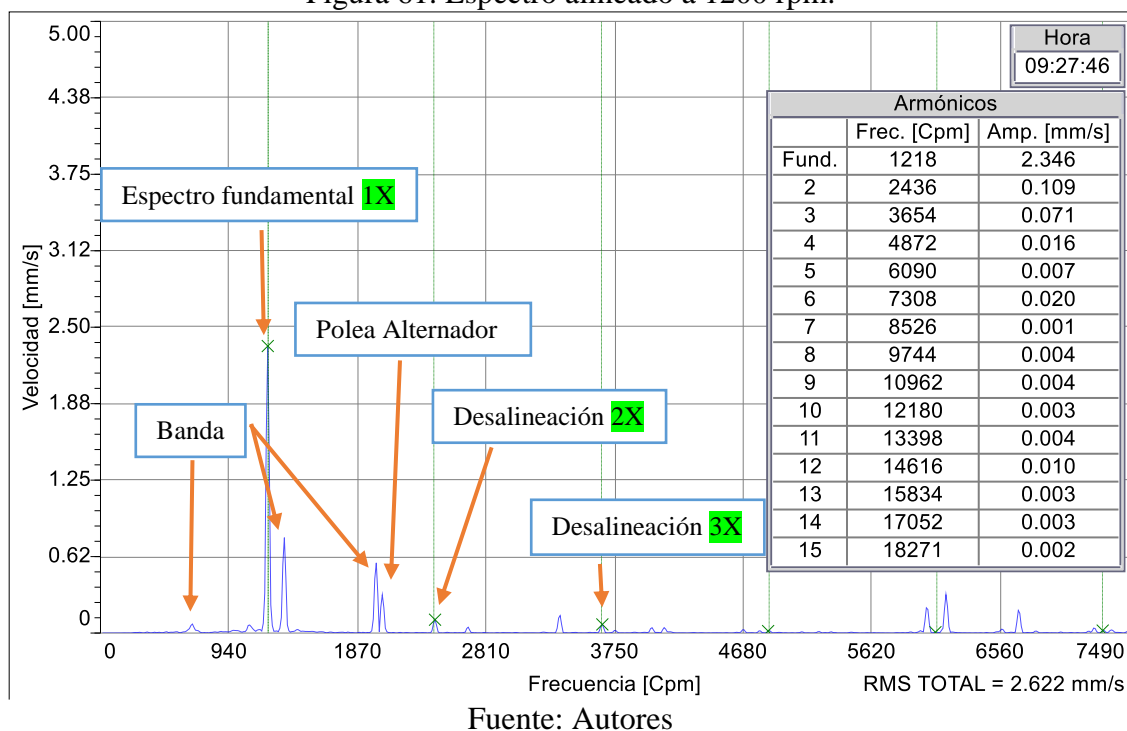
Velocidad a 1200 rpm		
Denominación	cpm	Hz
Frecuencia fundamental	1200	20
BPFO	3840	64.00
BPMF	5760	96.00
FTF	480	8.00
BSF	2208	36.80
fb	712	11.87
Polea grande	1281	21.35
Polea alternador	2053	34.22

Fuente: Autores

5.2.3.1 *Motor alineado a 1200 rpm paralelo.* En el análisis que se presenta a continuación en el módulo de pruebas está ajustado a los siguientes parámetros previamente realizado, el cálculo la potencia eléctrica ideal para dicha velocidad y con un rendimiento al 80% es de 292.64 W.

De la misma manera mientras incrementa el grado de desalineación en mm incrementará el espectro (pico) 2X y 3X indicando que la desalineación incrementa, mismo que se podrá ver en la siguiente figura.

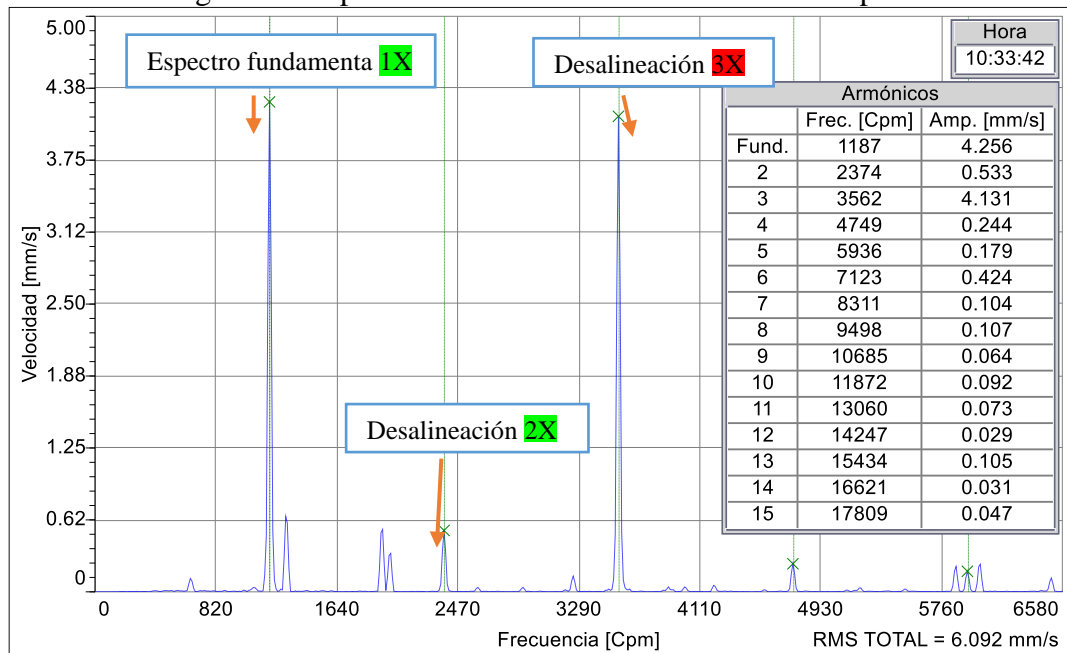
Figura 61. Espectro alineado a 1200 rpm.



Como se puede observar en la siguiente gráfica los espectros denominados mediante las Cartas de Charlotte para la desalineación 2X y 3X no supera al fundamental (1X), los espectros adicionales que se puede presenciar en el análisis corresponden a los de los elementos constituyentes al módulo.

5.2.3.2 *Desalineación máxima alcanzada a 1200 rpm.* La desalineación máxima alcanzada es de 2.4 mm con la velocidad establecida de 1200 rpm, la misma que fue desarrollada en el módulo de ensayo, a continuación, se puede presenciar el espectro de desalineación (3X) como superan al espectro fundamental (1X).

Figura 62. Espectro de vibración desalineado a 1200 rpm.



Fuente: Autores

El espectro correspondiente a la desalineación incrementa en cuanto a la amplitud, esto ocurre mientras se incremente el grado de desalineación en el módulo, el espectro (3X) es 58 veces superior que, en sus inicios cuando el motor está en condiciones óptimas de trabajo (alineado).

5.2.3.3 *Valores de la desalineación vs rms a 1200 rpm.* En la siguiente tabla se muestra el incremento del valor de rms en cuanto avanza la desalineación, la misma que nos servirá para realizar la gráfica de dispersión.

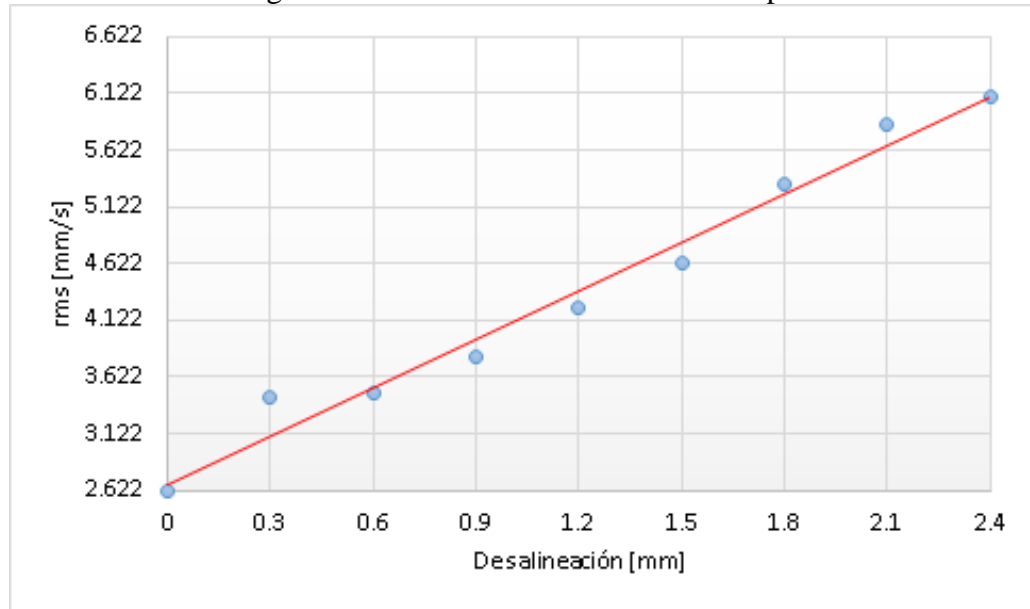
Tabla 31. Desalineación vs rms a 1200 paralelo

ITEM	Desalineación [mm]	Valor rms [mm/s]
		MV
1	0	2.622
2	0.3	3.439
3	0.6	3.479
4	0.9	3.791
5	1.2	4.225
6	1.5	4.618
7	1.8	5.327
8	2.1	5.851
9	2.4	6.099

Fuente: Autores

5.2.3.4 *Gráfica de la desalineación vs. rms.* Se puede observar que el valor de rms es directamente proporcional, mientras más incrementa la desalineación gradualmente en 0.3 mm, los valores que no se ajustan a la recta son por factores ajenos al experimento.

Figura 63. Desalineación vs rms a 1200 rpm.



Fuente: Autores

5.2.3.5 *Regresión lineal a 1200 rpm paralelo.* En realizar la gráfica se puede observar el incremento proporcional del valor total de rms con respecto a la desalineación, condición que se ajusta para la obtención de la curva mediante el método de mínimos cuadrados, que a continuación se detallará.

Ecuación de la recta

$$y = ax + b \quad \text{Ecuación 57}$$

Donde:

y: variable dependiente

a: pendiente

b: intersección de la ordenada en y

Tabla 32. Regresión lineal del motor a 1200 rpm paralelo.

ITEMS	X	Y	$(Xi-\bar{X})$ $(Yi-\bar{Y})$	$(Xi-\bar{X})^2$	$(Yi-\bar{Y})^2$
1	0	2.622	2.114	1.440	3.103
2	0.3	3.439	1.032	0.090	11.827
3	0.6	3.479	2.087	0.360	12.103
4	0.9	3.791	3.412	0.810	14.372
5	1.2	4.225	5.070	1.440	17.851
6	1.5	4.618	6.927	2.250	21.326
7	1.8	5.327	9.589	3.240	28.377
8	2.1	5.851	12.287	4.410	34.234
9	2.4	6.099	14.638	5.760	37.198
SUMATORIA	10.8	39.451	57.16	19.80	180.39
PROMEDIO	1.2	4.383			

Fuente: Autores

Para el cálculo de la pendiente utilizamos la siguiente forma con los datos calculados previamente en la tabla anterior.

$$a = \frac{\sum(Xi-\bar{X})(Yi-\bar{Y})}{\sum(Xi-\bar{X})^2} \quad \text{Ecuación 58}$$

$$a = \frac{57.16}{19.80}$$

$$a = 2.88$$

Es la tasa de crecimiento de la vibración que está basada en función a la desalineación

Para hallar la intersección de la ordenada, utilizamos la ecuación siguiente

$$b = Y - (a)(X) \quad \text{Ecuación 59}$$

$$b = 4.383 - 2.88 * 1.2$$

$$b = 0.927$$

Es la cantidad de vibración existente, como se puede notar al incrementar la velocidad, también incrementa la vibración.

Remplazando los valores en la ecuación tenemos

$$Y = 2.88x + 0.927 \quad \text{Ecuación 60}$$

En seguida de haber alcanzado la ecuación de la recta con los valores de la desalineación y la vibración para determinar el grado de ajuste del modelo se realiza la correlación para encontrar al valor de R^2 con la siguiente ecuación.

$$R^2 = \frac{\Sigma(Xi - \bar{X})(Yi - \bar{Y})}{\sqrt{\Sigma(Xi - \bar{X})^2 \Sigma(Yi - \bar{Y})^2}} \quad \text{Ecuación 61}$$

$$R^2 = \frac{57.16}{\sqrt{19.80 * 180.39}}$$

$$R^2 = 0.96$$

El valor de R^2 es cercano al cien por ciento, esto nos indica que tiene una alta fiabilidad de la obtención de valores, que más adelante será utilizada como la tolerancia de desalineación paralela para la velocidad de 1200 rpm.

5.2.3.6 Tolerancia de desalineación a 1200 rpm paralelo. De acuerdo con la norma ISO 10816-1, que nos indica el nivel máximo admisible bajo el criterio de desalineación medidos en rms para la operación de las máquinas, mismas que entran en esta norma por la razón de tener la potencia establecida en dicha norma (3.7 kW), ajustándose a la clase I (potencias menores de 15kw) y con una aceptación buena en vibraciones de 0.71 rms (mm/s).

Para alcanzar el valor de “y” reemplazamos el valor máximo admisible de tolerancia establecido en la norma que es de 0.71 rms para el motor analizado, y se asume una alineación ideal para ello se elimina la constante “b”, dicho esto la Fórmula quedaría de la siguiente manera.

$$y = 2.88x + 0.927$$

Donde:

y: nivel de vibración máximo de tolerancia

x: desalineación

$$0.71 = 2.88(x) + 0$$

Despajando x tenemos

$$x = \frac{0.71}{2.88}$$

$$x = 0.246$$

Como se puede notar, el valor de $X = 0.246$ mm es el estándar de tolerancia establecido para nuestro caso con una velocidad en el motor de 1200 rpm y una potencia eléctrica al 80% de 292.64 W ideal para esta velocidad.

5.2.3.7 Desalineación vs potencia eléctrica a 1200 rpm paralela. De acuerdo con los cálculos realizados en el capítulo III la potencia eléctrica ideal al 80% para la velocidad de 1200 rpm es de 292.64 W, esta potencia ajustada previamente con la ayuda del equipo de eficiencia energética (FLUKE 435 II), es en condiciones de optima alineación, lo que quiere decir es, que idealmente no existe pedidas por desalineación.

Tabla 33. Desalineación vs potencia a 1200 rpm paralelo

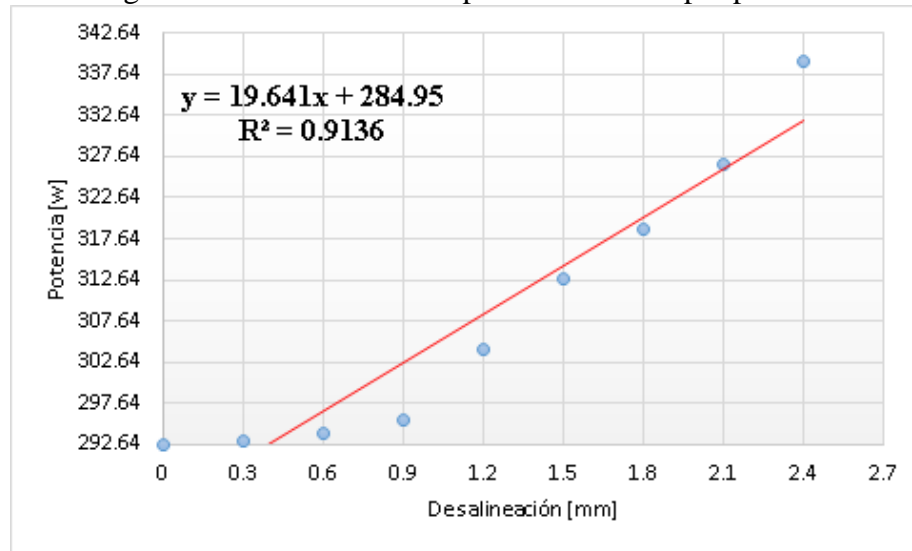
VELOCIDAD A 1200 rpm		
ITEM	Desalineación [mm]	Potencia [W]
1	0	292.4
2	0.3	299.5
3	0.6	303.9
4	0.9	307.8
5	1.2	312.2
6	1.5	317.6
7	1.8	322.5
8	2.1	328.4
9	2.4	334.2

Fuente: Autores

Con los valore obtenidos se realiza la gráfica de dispersión correspondiente a la desalineación paralela vs la potencia hallada, que nos indica como es el comportamiento

de la potencia en base a la desalineación controlada, progresivamente, y de esta manera poder corroborar el comportamiento en base a la desalineación.

Figura 64. Desalineación vs potencia a 1200 rpm paralelo.



Fuente: Autores

$$y = 19.641x + 284.95$$

Ecuación 62

Se puede observar en el gráfico el comportamiento de la potencia con respecto a la desalineación que se encuentran estrechamente relacionados, para este análisis la potencia incrementara si la desalineación sigue incrementando, incrementando el consumo de energía y poniendo en riesgo los elementos mecánicos.

A medida que los rms se incrementan vemos también el crecimiento de la potencia, se puede decir, que son directamente proporcionales ya que si el uno se incrementa el otro lo hace de la misma manera.

5.2.3.8 Potencia vs rms a 1200 rpm paralelo. Como se puede notar, mientras se incrementa la desalineación, acrecienta los valores del rms total en cada medición progresiva, de la misma manera se puede observar cómo va incrementando la potencia con la misma variable, a continuación, se detalla estos valores progresivos en la siguiente tabla.

Con los valores obtenidos se procederá a realizar la gráfica donde se establecerán la ecuación empírica y el grado de correlación de la misma.

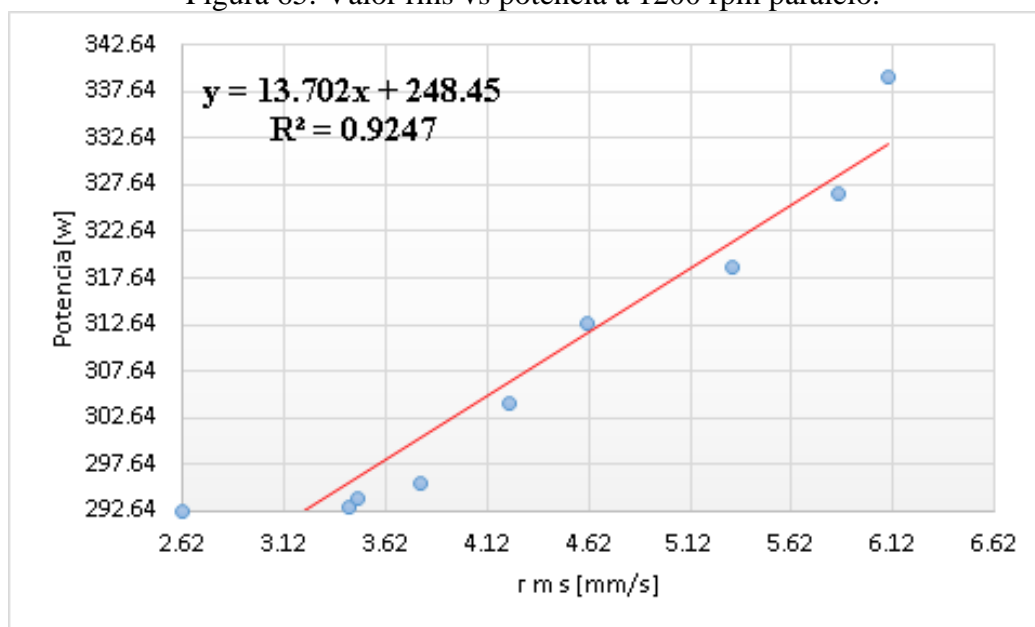
Tabla 34. Potencia vs rms a 1200 rpm paralelo.

VELOCIDAD A 1200 rpm		
ITEM	Potencia (W)	Valor rms (mm/s)
		MV
1	222.6	1.593
2	224.5	1.617
3	228.1	1.627
4	229.3	1.926
5	235.5	2.13
6	242.2	2.36
7	247.7	2.601
8	259.5	2.848
9	267.8	3.152
10	281.7	3.578
11	284.7	3.699

Fuente: Autores

Con la siguiente tabla se construirá la gráfica de dispersión para demostrar que es directamente proporcional el valor de la potencia consumida medible a el valor rms de la severidad de la desalineación.

Figura 65. Valor rms vs potencia a 1200 rpm paralelo.



Fuente: Autores

$$y = 13.702x + 248.45$$

Ecuación 62

En el gráfico realizado se puede notar como las dos variables dependientes, incrementan tanto la desalineación como la potencia de forma proporcional.

5.2.4 *Análisis de la vibración y de la potencia con una velocidad de 1730 rpm.* Para desarrollar el presente trabajo se toma la potencia eléctrica del motor con una carga al 80% que equivale a 400 W, el motivo de este porcentaje es para aprovechar al máximo su eficiencia, recomendado por el fabricante, estos parámetros son medidos con la ayuda del equipo de eficiencia energética (FLUKE 435 II), esta potencia está bajo los parámetros correctos de alineación el mismo que se asume que no existen pérdidas por desalineación.

5.2.4.1 *Frecuencias perceptibles en el análisis del diagnóstico con una velocidad de 1735 rpm.* En la siguiente tabla se detalla los armónicos que se encuentran anexados al análisis de los espectros de desalineación.

Tabla 35. Frecuencias que aparecen a 1730 rpm paralelo.

Velocidad a 1730 rpm		
Denominación	cpm	Hz
Frecuencia fundamental	1735	28.91
BPFO	5558.4	92.64
BPFI	8337.6	138.96
FTF	694.8	11.58
BSF	3196.08	53.27
fb	1031.36	17.19
Polea grande	1737	28.95
Polea alternador	2948	49.13

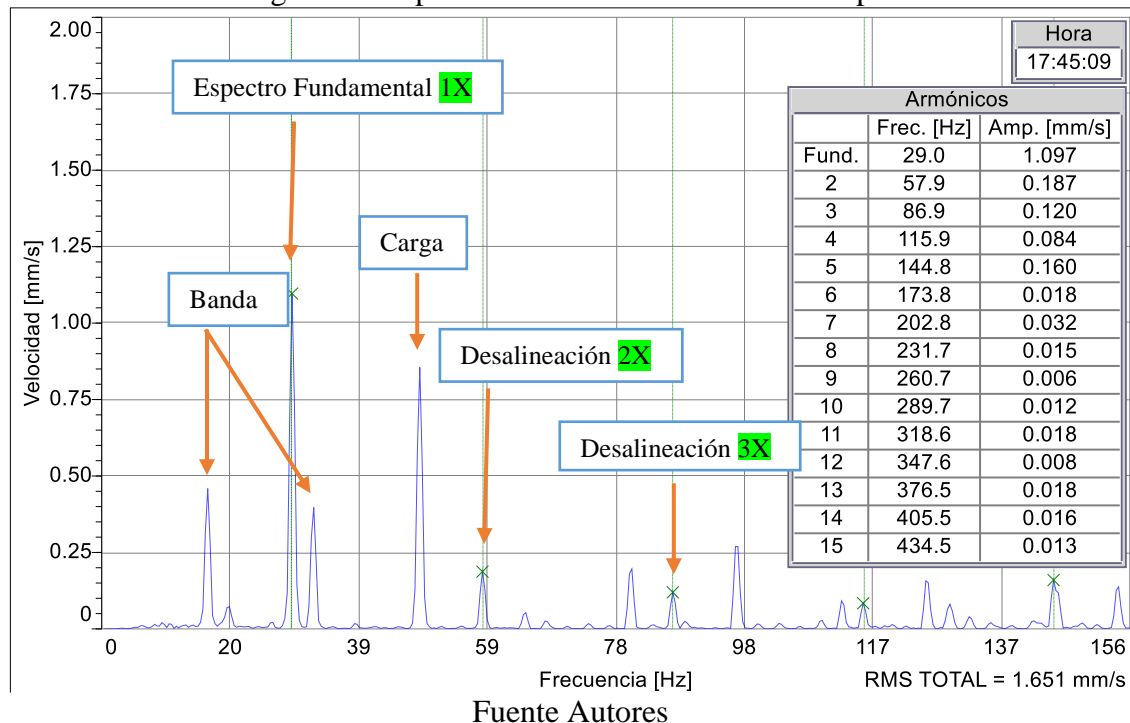
Fuente: Autores

5.2.4.2 *Motor alineado a 1730 rpm.* En la siguiente figura se muestra el gráfico del espectro correctamente alineado, se garantiza la alineación ya que se utilizó el equipo OPTALING PLUS equipo que nos ayuda con una alineación laser, donde podemos observar que los valores que representan a la desalineación 1x, 2x, 3x, 4x, 5x, 6x se encuentran en condiciones normales, están en el rango de la norma que nos dice que deben estar menores a 0,71 rms.

El motor alineado a 1730 ayudara a determinar tablas en donde se podrán relacionar los valores obtenidos tanto de potencia vs rms, de la cantidad de desalineación controlada vs

la cantidad de vibración y la potencia en función de la desalineación paralela trabajada de forma controlada.

Figura 66. Espectro del motor alineado a 1730 rpm

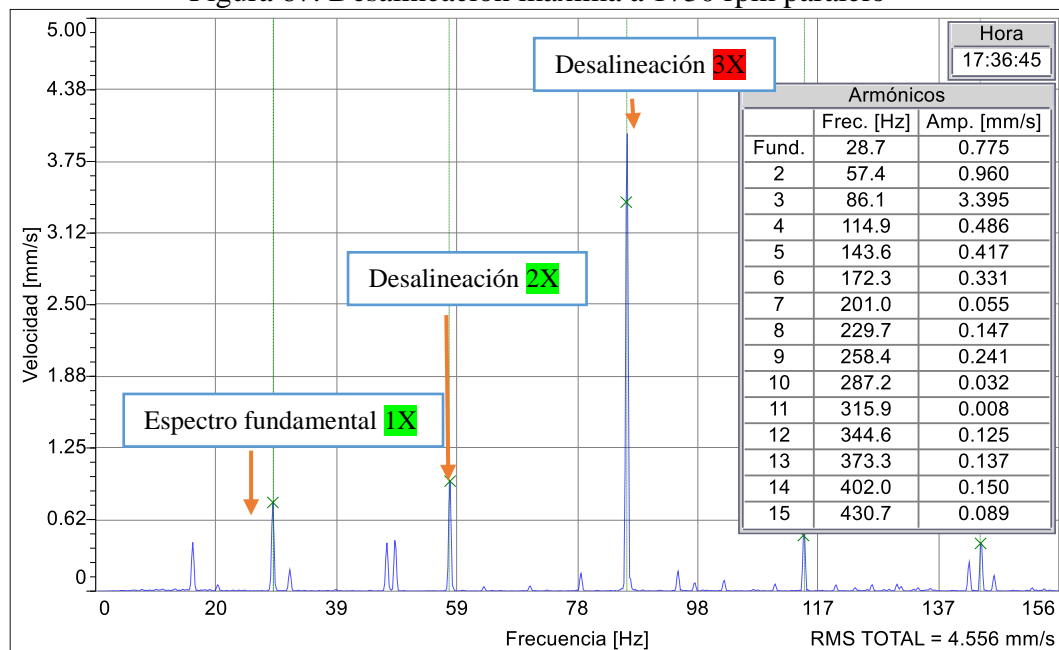


En la presenta gráfica se puede observar que los espectros correspondientes a la desalineación paralela (2X y 3X) tiene una amplitud aceptable relacionando con las Cartas de Charlotte, lo cual está demostrado que tiene una alineación correcta.

La amplitud de los picos que representan a la desalineación paralela se encuentran bajos tienen valores $2x = 0,23$ y $3x = 0,12$ que están bajo la norma y están operando de forma correcta.

5.2.4.3 Desalineación máxima alcanzada a 1730 rpm. La desalineación máxima alcanzada para esta velocidad es 2.1 mm con una velocidad de 1730 rpm, la misma que fue desarrollada en el módulo adecuado para el ensayo, en la siguiente gráfica se puede presenciar los picos de desalineación 2x y 3x que representan la desalineación paralela, los valores estimados se dejaron de tomarse ya que en el módulo existió una presencia de ruido excesivo. Para realizar bajo nuestras condiciones de medida se toma de manera arbitraria las medidas de desalineación en milímetros, para ellos se avanza de manera progresiva de 0.3 mm hasta llegar a 2.1 mm, lo cual se lleva 8 medidas.

Figura 67. Desalineación máxima a 1730 rpm paralelo



Fuente: Autores

En la gráfica analizada se nota de forma concisa como el espectro de desalineación (3X) supera al espectro fundamental 1X, esto quiere decir que mientras incrementa el grado de desalineación incrementa la amplitud de 3X de 0,120 a 3,395, de esta manera incrementando también el valor rms total.

5.2.4.4 *Valores de la desalineación vs incremento de rms a 1730 rpm desalineación paralela.* Mientras incrementa el grado de desalineación en mm, se nota que también incrementa el valor total de rms, esto se puede visualizar en la siguiente tabla.

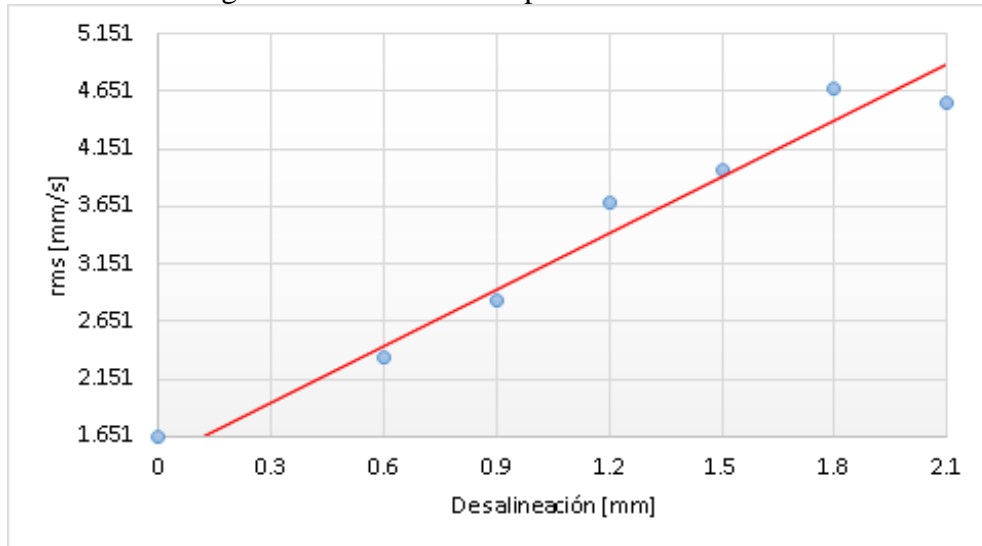
Tabla 36. Desalineación vs rms a 1730 desalineación paralela.

VELOCIDAD A 1730 rpm		
ITEM	Desalineación [mm]	Valor rms [mm/s]
		MA
1	0	1.651
2	0.3	1.637
3	0.6	2.335
4	0.9	2.839
5	1.2	3.678
6	1.5	3.976
7	1.8	4.674
8	2.1	4.556

Fuente: Autores

5.2.4.5 *Gráfica de la desalineación vs. rms a 1730 rpm paralelo.* El siguiente gráfico muestra el incremento de la desalineación que es cada 0.3mm, y de qué forma es comportamiento el valor de rms total.

Figura 68. Desalineación paralela vs rms a 1730



Fuente: Autores

Se observa el comportamiento del valor rms total con respecto a la desalineación, este como se mencionó incrementa mientras avanza el grado de desalineación.

5.2.4.6 *Regresión lineal de la desalineación vs rms.* En realizar la gráfica se puede observar el incremento proporcional del valor total de rms con respecto a la desalineación, condición que se ajusta para la obtención de la curva mediante el método de mínimos cuadrados, que a continuación se detallará.

$$y = ax + b \quad \text{Ecuación 63}$$

Donde:

y: variable dependiente

a: pendiente

b: intersección de la ordenada en y

Tabla 37. Regresión lineal de desalineación vs rms a 1730 rpm.

ITEMS	X	Y	$(Xi-\bar{X})$ $(Yi-\bar{Y})$	$(Xi-\bar{X})^2$	$(Yi-\bar{Y})^2$
1	0	1.651	1.593	1.103	2.302
2	0.3	1.637	0.491	0.090	2.680
3	0.6	2.335	1.401	0.360	5.452
4	0.9	2.839	2.555	0.810	8.060
5	1.2	3.678	4.414	1.440	13.528
6	1.5	3.976	5.964	2.250	15.809
7	1.8	4.674	8.413	3.240	21.846
8	2.1	4.556	9.568	4.410	20.757
SUMATORIA	8.4	25.346	34.40	13.70	90.43
PROMEDIO	1.05	3.168			

Fuente: Autores

Para el cálculo de la pendiente utilizamos la siguiente forma con los datos calculados previamente en la tabla anterior.

$$a = \frac{\sum(Xi-\bar{X})(Yi-\bar{Y})}{\sum(Xi-\bar{X})^2} \quad \text{Ecuación 64}$$

$$a = \frac{34.40}{13.70}$$

$$a = 2.51$$

Es la tasa de crecimiento de la vibración que está basada en función a la desalineación.

Para hallar la intersección de la ordenada, utilizamos la ecuación siguiente

$$b = \bar{Y} - (a)(\bar{X}) \quad \text{Ecuación 65}$$

$$b = 3.168 - 2.51 * 1.05$$

$$b = 0.532$$

Es la cantidad de vibración existente, como se puede notar al incrementar la velocidad.

Remplazando los valores en la ecuación tenemos

$$Y = 2.51x + 0.532$$

Ecuación 66

En seguida de haber alcanzado la ecuación de la recta con los valores de la desalineación y la vibración para determinar el grado de ajuste del modelo se realiza la correlación para encontrar al valor de R^2 con la siguiente fórmula.

$$R^2 = \frac{\Sigma(Xi-X)(Yi-Y)}{\sqrt{\Sigma(Xi-X)^2 \Sigma(Yi-Y)^2}}$$

Ecuación 67

$$R^2 = \frac{34.40}{\sqrt{13.70 * 90.43}}$$

$$R^2 = 0.977$$

El valor de R^2 es aceptable, esto nos indica que tiene una alta fiabilidad de la obtención de valores, que más adelante será utilizada como la tolerancia de desalineación paralela para la velocidad de 1730 rpm.

5.2.4.7 Tolerancia de desalineación a 1730 rpm. De acuerdo con la norma ISO 10816-1, que nos indica el nivel máximo admisible bajo el criterio de desalineación medidos en RMS para la operación de las máquinas, mismas que entran en esta norma por la razón de tener la potencia establecida en dicha norma (3.7 kw), ajustándose a la clase I (potencias menores de 15kw) y con una aceptación buena en vibraciones de 0.71 rms (mm/s).

Para alcanzar el valor de “y” reemplazamos el valor máximo admisible de tolerancia establecido en la norma que es de 0.71 rms para el motor analizado, y se asume una alineación ideal para ello se elimina la constante “b”, dicho esto la Fórmula quedaría de la siguiente manera.

$$y = 2.51x + 0.532$$

Donde:

y: nivel de vibración máximo de tolerancia

x: desalineación

$$0.71 = 2.51(x) + 0$$

Despajando x tenemos

$$x = \frac{0.71}{2.51}$$

$$x = 0.282$$

Como se puede notar, el valor de $X = 0.282$ mm es el estándar de tolerancia establecido para nuestro caso con una velocidad en el motor de 1730 rpm y una potencia eléctrica al 80% de 410 W ideal para esta velocidad, ya que se estandariza que el motor debe trabajar al nominal de su carga.

5.2.4.8 Desalineación paralela vs potencia eléctrica a 1730 rpm. La velocidad de 1730 rpm corresponde a una potencia eléctrica de 400 W, considerando con una potencia al 80% de la nominal, potencia ajustada previamente con la ayuda del equipo de eficiencia energética (FLUKE 435 II), es en condiciones de optima alineación, lo que quiere decir es, que idealmente no existe pérdidas por desalineación, la misma que nos servirá como guía para ver su comportamiento en cuanto avance los niveles de desalineación posteriormente desarrollados.

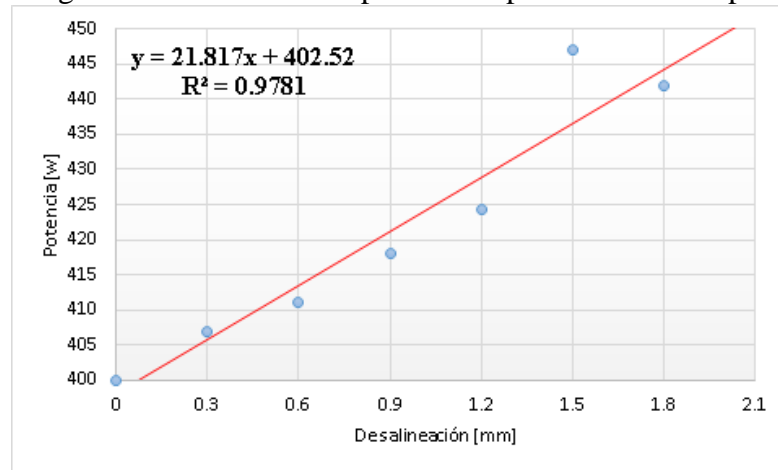
Tabla 38. Desalineación paralela vs potencia a 1730 rpm.

VELOCIDAD A 1730 rpm		
ITEM	Desalineación [mm]	Potencia [W]
1	0	405
2	0.3	410
3	0.6	415
4	0.9	420
5	1.2	424.2
6	1.5	436.2
7	1.8	442
8	2.1	451

Fuente: Autores

Con los valores obtenidos se realiza la gráfica de dispersión correspondiente a la desalineación paralela vs la potencia hallada.

Figura 69. Desalineación paralela vs potencia a 1730 rpm.



Fuente: Autores

$$y = 21.817x + 402.52$$

Ecuación 68

Se puede observar en el gráfico el comportamiento de la potencia con respecto a la desalineación que se encuentran estrechamente relacionados, para este análisis la potencia incrementara si la desalineación sigue incrementando.

5.2.4.9 *Potencia vs rms a 1730 rpm paralelo.* Como se puede notar, mientras se incrementa la desalineación, acrecienta los valores del rms total en cada medición progresiva.

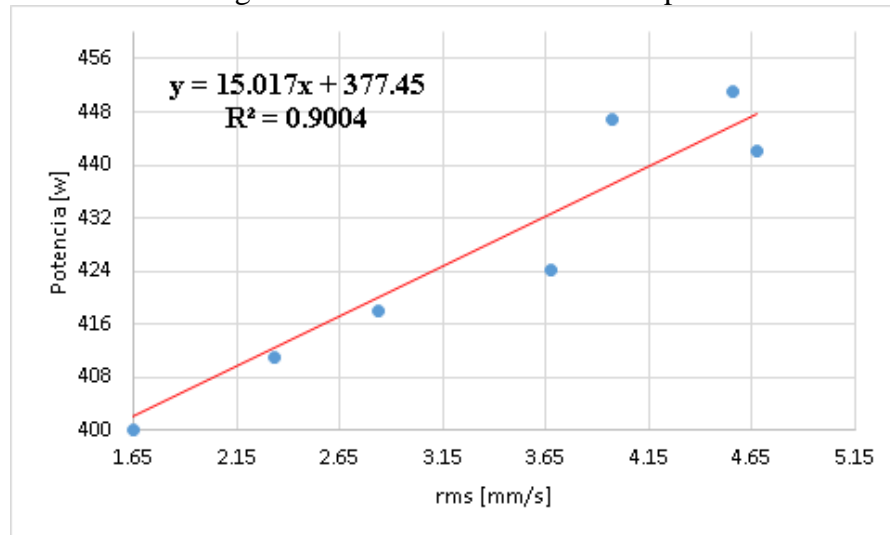
Tabla 39. Potencia vs rms a 1730 rpm

ITEM	Potencia [W]	Valor rms [mm/s]
1	405	1.651
2	410	1.637
3	415	2.335
4	420	2.839
5	424.2	3.678
6	436.2	3.976
7	442	4.674
8	451	4.556

Fuente: Autores

Con la siguiente tabla se construirá la gráfica de dispersión para demostrar la relación directa que hay de forma proporcional, el valor de la potencia consumida medible o potencia activa a el valor rms o como se dice el valor medio eficaz, de la severidad de la desalineación.

Figura 70. Potencia vs rms a 1730 rpm.



Fuente: Autores

$$y = 15.017x + 377.45$$

Ecuación 69

En el gráfico realizado se puede notar como las dos variables dependientes, incrementan directamente proporcional, cuando el valor rms incrementa debido a la vibración el valor de la potencia también se incrementa, demostrando que las dos variables son dependientes entre sí.

5.3 Tabulación de las ecuaciones en píricas

Una vez realizado el análisis de los datos obtenidos en cuanto al valor de la potencia y vibración en función a la desalineación, se obtuvo ecuaciones, las mismas que se encuentran representadas en sus valores de términos correspondientes a sus variables y estas variables son: independiente y dependientes según corresponda, las cuales se presenta agrupadas de en función al planteamiento de la hipótesis, es decir, a la variable independiente con las variables dependientes, con el fin de demostrar lo antes mencionado.

5.3.1 *Ecuaciones de vibración rms en función de la desalineación.* Los valores presentados en la tabla 40 y 41, representan a las ecuaciones empíricas encontradas por medio de la linealización utilizando el método de los mínimos cuadrados, para determinar la cantidad de vibración al momento del trabajo, para eso, se usó los valores arrojados por el equipo de vibraciones Vibracheck ABG 200.

Tabla 40. Ecuaciones empíricas desalineación angular rms vs desalineación.

DESALINEACIÓN ANGULAR				
Velocidad [rpm]	Fórmula	Variable independiente	Variable dependiente	Ubicación
900	$\text{rms}=0,043(\text{Des})+0,53$	Desalineación	Vibración rms [mm/s]	Ecuación (29)
1200	$\text{rms}=0,0699(\text{Des})+1,565$	Desalineación	Vibración rms [mm/s]	Ecuación (38)
1730	$\text{rms}=0,1331(\text{Des})+0,84$	Desalineación	Vibración rms [mm/s]	Ecuación (45)

Fuente: Autores

A continuación se muestran las ecuaciones empíricas de la desalineación paralela en mm utilizando el método anterior.

Tabla 41. Ecuaciones empíricas desalineación paralela rms vs desalineación.

DESALINEACIÓN PARALELA				
Velocidad [rpm]	Fórmula	Variable independiente	Variable dependiente	Ubicación
900	$\text{rms}=1,33(\text{Des})+0,471$	Desalineación	Vibración rms [mm/s]	Ecuación (53)
1200	$\text{rms}=2,88(\text{Des})+0,927$	Desalineación	Vibración rms [mm/s]	Ecuación (60)
1730	$\text{rms}=2,51(\text{Des})+0,532$	Desalineación	Vibración rms [mm/s]	Ecuación (66)

Fuente: Autores

5.3.2 *Ecuaciones de potencia en función a la desalineación.* Los valores presentados en la tabla 42 y 43, representan a las ecuaciones empíricas encontradas por medio de la línea de tendencia, valor trabajado en Excel además se encontró el grado de correlación de la gráfica con el fin de ver si la técnica de linealización es válida a una recta, para determinar la cantidad de potencia empleada al momento del trabajo, para eso, se usó los valores arrojados por el equipo de la calidad de la energía Fluke 435.

Tabla 42. Ecuaciones empíricas de la desalineación angular potencia vs desalineación.

DESALINEACIÓN ANGULAR				
Velocidad [rpm]	Fórmula	Variable independiente	Variable dependiente	Ubicación
900	$P = 0,6869(\text{Des}) + 220,98$	Desalineación	Potencia [w]	Ecuación (34)
1200	$P = 0,6334(\text{Des}) + 292,01$	Desalineación	Potencia [w]	Ecuación (41)
1730	$P = 4,149(\text{Des}) + 400,47$	Desalineación	Potencia [w]	Ecuación (50)

Fuente: Autores

A continuación se muestra los valores de la desalineación paralela en mm y la potencia establecidos por el equipo Fluke 435 II.

Tabla 43. Ecuaciones empíricas de la potencia vs la desalineación paralela.

DESALINEACIÓN PARALELA				
Velocidad [rpm]	Fórmula	Variable independiente	Variable dependiente	Ubicación
900	$P = 22,152(\text{Des}) + 214,37$	Desalineación	Potencia [w]	Ecuación (55)
1200	$P = 19,641(\text{Des}) + 284,95$	Desalineación	Potencia [w]	Ecuación (62)
1730	$P = 21,817(\text{Des}) + 402,52$	Desalineación	Potencia [w]	Ecuación (68)

Fuente: Autores

5.3.3 *Ecuaciones de potencia en función del valor rms.* Se muestra en las tablas 44 y 45 los valores de potencia en función a los valores rms.

Tabla 44. Ecuaciones empíricas de la desalineación angular potencia vs rms.

DESALINEACIÓN ANGULAR				
Velocidad [rpm]	Fórmula	Variable independiente	Variables dependientes	Ubicación
900	$P = 18,291(\text{rms}) + 209,73$	rms [mm/s]	Potencia [w]	Ecuación (35)
1200	$P = 8,0237(\text{rms}) + 279,18$	rms [mm/s]	Potencia [w]	Ecuación (42)
1730	$P = 26,713(\text{rms}) + 375,36$	rms [mm/s]	Potencia [w]	Ecuación (51)

Fuente: Autores

A continuación se muestra los valores de las ecuaciones empíricas de la desalineación paralela a las velocidades de 900, 1200 y 1730 rpm.

Tabla 45. Ecuaciones empíricas de la desalineación paralela potencia vs rms.

DESALINEACIÓN PARALELA				
Velocidad [rpm]	Fórmula	Variable independiente	Variable dependiente	Ubicación
900	$P = 29,555(\text{rms}) + 174,42$	rms [mm/s]	Potencia [w]	Ecuación (56)
1200	$P = 13,702(\text{rms}) + 248,45$	rms [mm/s]	Potencia [w]	Ecuación (62)
1730	$P = 15,017(\text{rms}) + 377,45$	rms [mm/s]	Potencia [w]	Ecuación (69)

Fuente: Autores

5.4 Pérdidas a causa de la desalineación

En el estudio analizado fue muy notorio el incremento de consumo de potencia eléctrica activa en el motor trifásico jaula de ardilla, este incremento se presenta en el motor como energía calorífica innecesario para el mismo y reduciendo su vida útil.

Con las formulas planteadas, nos muestran el consumo de potencia innecesario a causa de la desalineación ya sea angular o paralela, cabe mencionar que para cada tipo de desalineación y a sus distintas velocidades le corresponde una ecuación única previamente obtenida con los datos correspondientes a dichos parámetros.

En el campo industrial este derroche de energía será una pérdida netamente económica, ya que existe en un promedio de 5 a 7 motores eléctricos trifásicos jaula de ardilla, los mismos que pueden mantenerse en funcionamiento 24 horas al día.

5.4.1 Caso de estudio

Para la certificación de las ecuaciones planteadas se tomó la siguiente ecuación establecida por los parámetros:

Un motor de $\frac{1}{2}$ hp de potencia trabaja con una velocidad de 900 rpm con carga constante de 219,44 [w], trabaja 24 horas en el día los 360 días del año, se procedió a realizar la

severidad de la desalineación con el equipo Vibracheck ABG 200 arrojando un nivel de rms total de 3.578 [mm/s] (vibración) ¿Cuánto debe consumir en el tiempo estipulado sin desalineación? ¿Cuál es consumo de energía con la desalineación planteada? ¿Cuánto pierde económicamente la empresa en caso de ser 5 motores eléctricos trifásicos jaula de ardilla?

$$P = 29,555(\text{rms}) + 174,42 \quad (56)$$

Donde:

P: potencia [w]

rms: severidad de la desalineación en [mm/s]

29,555 (constante): tasa de crecimiento de potencia basada en función a los rms

174,42 (constante): es la partida de potencia con respecto al eje Y

Entonces reemplazando los datos en la ecuación (56) tenemos que:

¿Cuánto debe consumir en el tiempo estipulado sin desalineación?

Para el siguiente cálculo se multiplica las horas totales trabajadas por los días que trabajo el motor, asimilando que no existieron paros imprevistos, entonces:

$$\text{Horas trabajadas} = 360 \text{ días} \frac{24 \text{ horas}}{1 \text{ día}} \quad \text{Ecuación 70}$$

$$\text{Horas trabajadas} = 8640 \text{ horas}$$

Ahora se calcula el valor de del consumo de energía sin desalineación, esto se logra multiplicando los kilovatios por el tiempo de trabajo.

$$\text{Consumo energético} = 0,2194 \text{ kw} * 8640 \text{ h} \quad \text{Ecuación 71}$$

$$\text{Consumo energético} = 1.895.616 \text{ kw/h}$$

$$\text{Total a pagar (sin desalineación)} = 1.895.616 \frac{\text{kw}}{\text{h}} * 0,0933 \text{ cnt} \quad \text{Ecuación 72}$$

$$\text{Total a pagar (sin desalineación)} = \$176,86$$

Entonces el consumo de energía 24 horas al día 360 días, sin desalineación es de 1.895.616 kw/h.

¿Cuál es consumo de energía con la desalineación planteada?

Para responder a esta inquietud se utiliza la formula empírica planteada en razón de que se tiene el nivel de vibración que es 3,578 [mm/s], entonces, se procede a reemplazar los datos y se obtiene:

$$P = 29,555(\text{rms}) + 174,42 \quad (56)$$

$$P = 29,555(3,578) + 174,42$$

$$P = 0,2801 \text{ [kw]}$$

$$\text{Total a pagar (con desalineación)} = 0,2801[\text{kw}] * 8640h * 0,0933 \text{ cnt} \quad \text{Ecuación 73}$$

$$\text{Total a pagar (con desalineación)} = \$225,79$$

Entonces se tiene que a causa de la desalineación y consecuentemente con una rms de 3,578[mm/s] la potencia incrementa de 0,2194 [kw] a 0,2801[kw].

$$\Delta_P = w - w_o \quad \text{Ecuación 74}$$

$$\Delta_P = 0,2801[\text{kw}] - 0.2194[\text{kw}]$$

$$\Delta_P = 0,0607[\text{kw}]$$

Con el nivel de desalineación medido ha incrementado un valor de 0,0607 [kw], lo cual repercute en valor económico.

¿Cuánto pierde económicamente la empresa en caso de ser 5 motores eléctricos trifásicos jaula de ardilla?

Para el siguiente análisis se toma los resultados de las ecuaciones 72 y 73 y se hace una diferencia entre ellas, luego se multiplica por 5 porque es el número de motores planteados.

$$\text{Valor en exceso por desalineación} = (P - P_o) * 5$$

$$\text{Valor en exceso por desalineación} = \$(225,79 - 176,86) * 5$$

$$\text{Valor en exceso por desalineación} = \$244,65$$

El valor a pagar a causa de la desalineación paralela es de \$244,65 en los 360 días de trabajo.

5.4.2 *Cálculo de valores porcentuales de la potencia al incrementar la desalineación.*

Para hallar los valores de incremento porcentual en cuanto aumenta el valor rms se procedió a realizar con la siguiente fórmula para todos los dos casos de desalineación paralela y angular, y para las velocidades planteadas.

$$\Delta_p = \frac{w - w_o}{w_o} * 100\% \quad \text{Ecuación 75}$$

Donde:

Δ_p : Variación de la potencia en función a la desalineación

w : Potencia final con desalineación de manera progresiva

w_o : Potencia final sin desalineación

5.4.3 *Valores porcentuales desalineación angular.* Para el caso de desalineación paralela y en los distintos niveles de velocidad se tiene los valores siguientes con sus respectivas gráficas, el cual nos indica el comportamiento de la potencia de manera porcentual en función a los valores de rms.

- Variación de la potencia en desalineación angular con una velocidad de 900 rpm

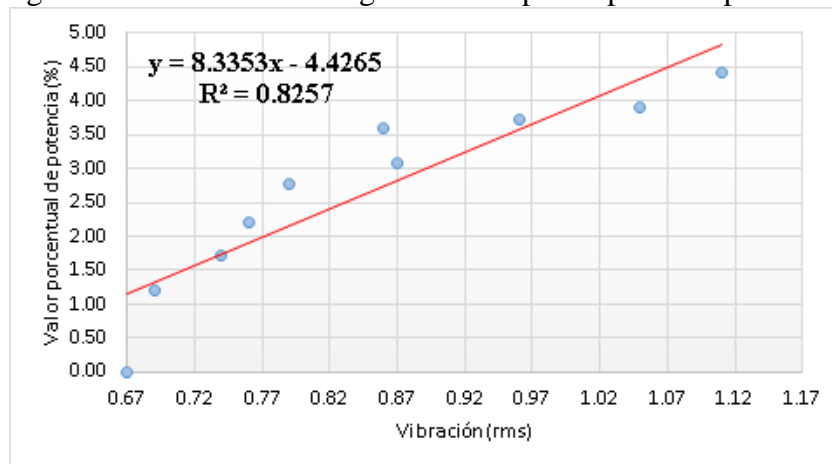
Tabla 46. Valor porcentual de la desalineación en función a la potencia porcentual.

VELOCIDAD A 900 rpm		
ITEM	Desalineación (mm)	Potencia en (%)
1	0	2.31
2	0.3	2.67
3	0.6	3.03
4	0.9	3.17
5	1.2	3.22
6	1.5	4.22
7	1.8	4.31
8	2.1	4.72
9	2.4	4.90
10	2.7	5.59
11	3	5.91

Fuente: Autores

A continuación se muestra la gráfica, estableciendo el incremento porcentual para reflejar la pendiente directa.

Figura 71. Desalineación angular a 900 rpm vs potencia porcentual



Fuente: Autores

- Variación de la potencia en desalineación angular con una velocidad de 1200 rpm. Se muestra la relación de la potencia en porcentaje en función a la desalineación transformados los valores de mm rad a mm para mayor comprensión.

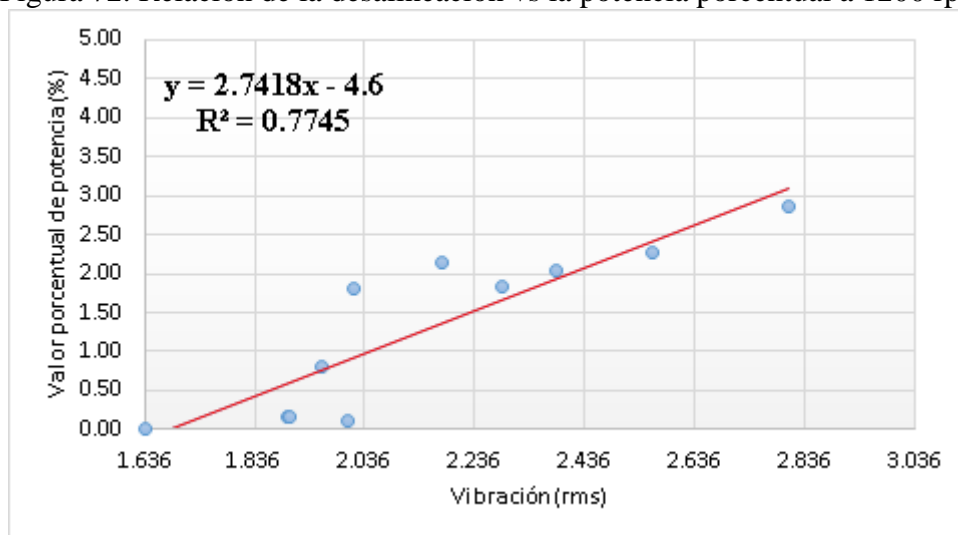
Tabla 47. Relación de la desalineación vs la potencia porcentual a 1200 rpm angular.

VELOCIDAD A 1200 rpm		
ITEM	Desalineación (mm)	Potencia (%)
1	0	0.98
2	0.3	1.01
3	0.6	1.39
4	0.9	1.73
5	1.2	1.93
6	1.5	2.38
7	1.8	1.83
8	2.1	1.87
9	2.4	2.28
10	2.7	2.86
11	3	2.93
12	3.3	2.93

Fuente: Autores

Se procede a graficar los valores para establecer la pendiente a cual se ajusta la gráfica.

Figura 72. Relación de la desalineación vs la potencia porcentual a 1200 rpm



Fuente: Autores

- Variación de la potencia en desalineación angular con una velocidad de 1730 rpm

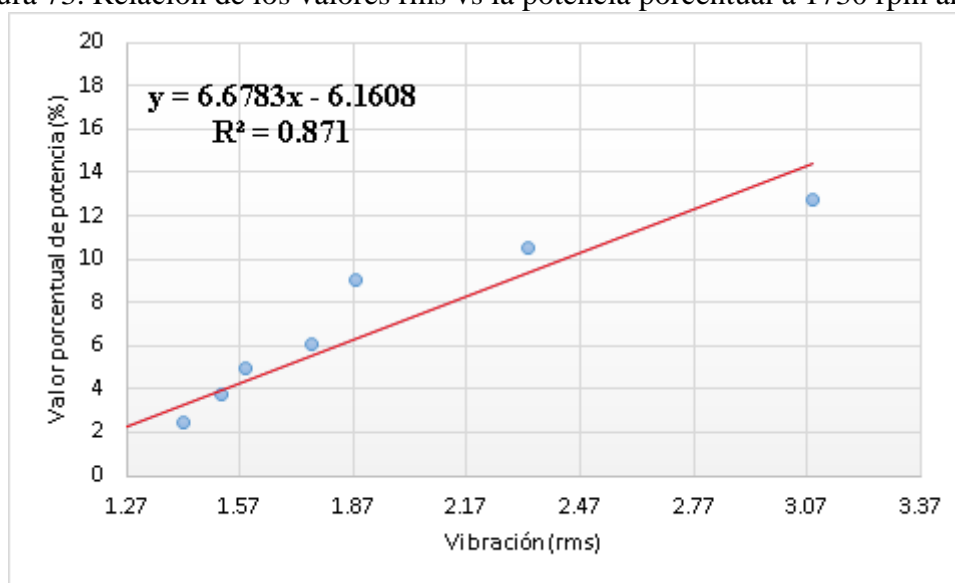
Tabla 48. Relación de los valores rms vs la potencia porcentual a 1730 rpm angular

VELOCIDAD A 1730 rpm		
ITEM	Vibración (rms)	Potencia (%)
1	1.227	0
2	1.419	2.5
3	1.521	3.75
4	1.584	5
5	1.762	6.05
6	1.876	9.05
7	2.332	10.5
8	3.086	12.75

Fuente: autores

A continuación se procede a realizar la gráfica de dispersión con el fin de establecer el valor de la pendiente para analizarlos que pasa con el incremento de la potencia activa.

Figura 73. Relación de los valores rms vs la potencia porcentual a 1730 rpm angular



Fuente: Autores

Se puede observar el incremento porcentual de la potencia mientras incrementa la desalineación, esto nos indica que existe mayor consumo de energía para genera el mismo trabajo el motor eléctrico, la energía absorbida en vano posteriormente se convertirá en calor, valores que son directamente proporcionales el uno con el otro el incremento del uno afecta al incremento del otro.

5.4.4 Valores porcentuales de desalineación paralela

Para este caso se basó en los mismos cálculos para hallar el incremento de la potencia de forma porcentual, dichos valores podrán evidenciarse en las tablas siguientes y su comportamiento se puede observar en las gráficas planteadas con los valores calculados.

- Variación de la potencia en desalineación paralela con una velocidad de 900 rpm

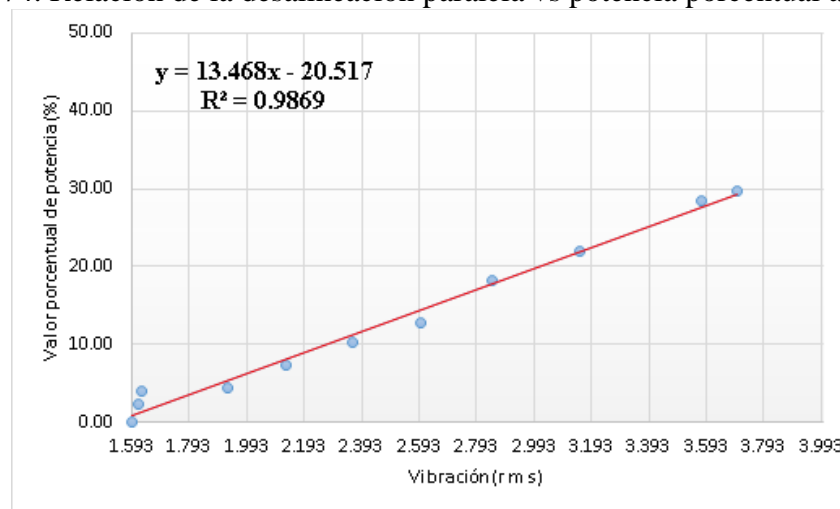
Tabla 49. Relación de la desalineación mm y la potencia porcentual paralela a 900 rpm

VELOCIDAD A 900 rpm		
ITEM	Desalineación (mm)	Potencia en (%)
1	0	1.44
2	0.3	2.31
3	0.6	3.95
4	0.9	4.49
5	1.2	7.32
6	1.5	10.37
7	1.8	12.88
8	2.1	18.26
9	2.4	22.04
10	2.7	28.37
11	3	29.74

Fuente: Autores

A continuación se muestra la gráfica de dispersión para visualizar que pasa con la pendiente de la misma.

Figura 74. Relación de la desalineación paralela vs potencia porcentual a 900 rpm



Fuente: Autores

- Variación de la potencia en desalineación paralela con una velocidad de 1200 rpm

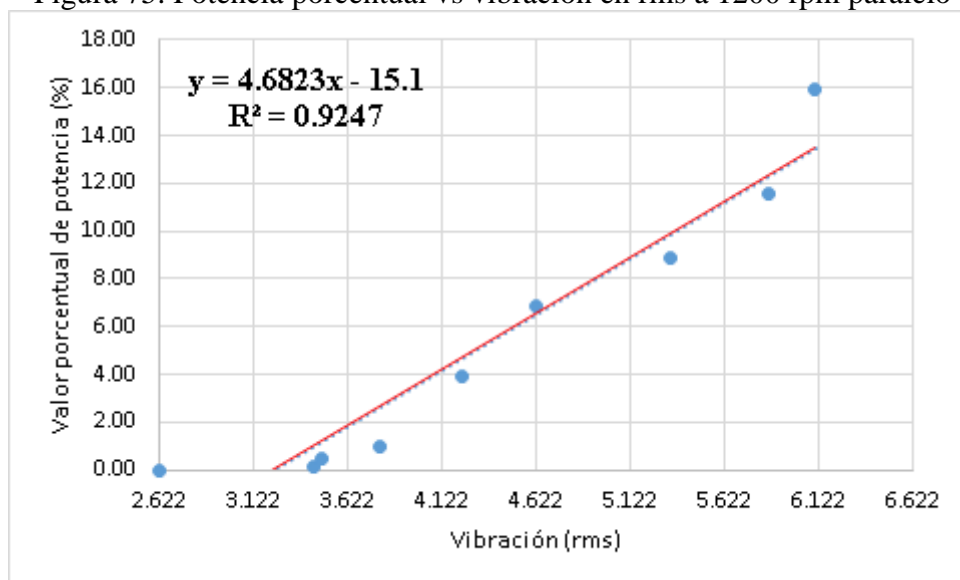
Tabla 50. Desalineación en mm vs la potencia porcentual paralelo a 1200 rpm

VELOCIDAD A 1200 rpm		
ITEM	Desalineación (mm)	Potencia (%)
1	0	0.00
2	0.3	0.16
3	0.6	0.43
4	0.9	1.01
5	1.2	3.92
6	1.5	6.89
7	1.8	8.91
8	2.1	11.60
9	2.4	15.91

Fuente: Autores

Se procede a realizar la gráfica de dispersión para establecer los parámetros de comportamiento de la pendiente de la gráfica.

Figura 75. Potencia porcentual vs vibración en rms a 1200 rpm paralelo



Fuente: Autores

- Variación de la potencia en desalineación paralela mm con una velocidad de 1730 rpm establecidos previamente.

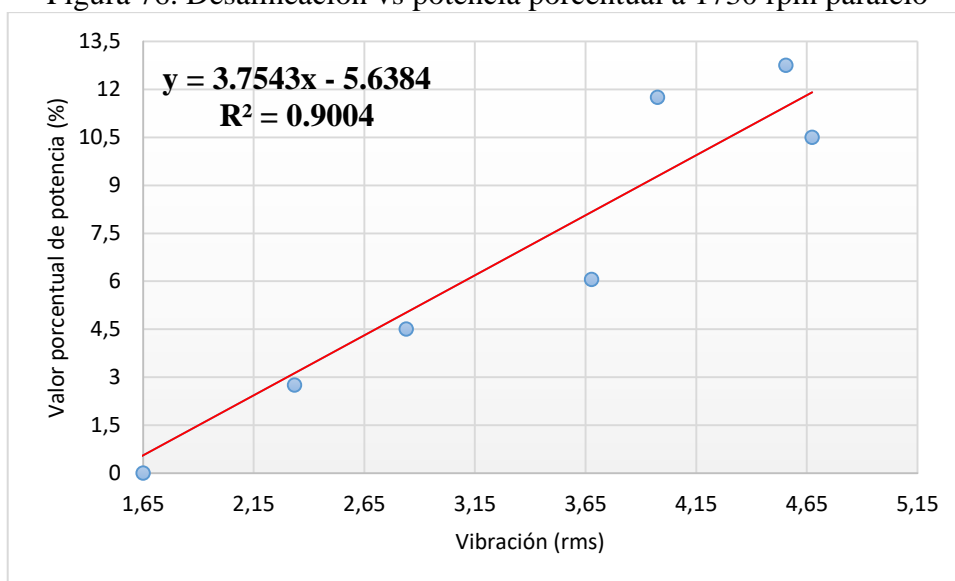
Tabla 51. Desalineación vs potencia porcentual paralela a 1730 rpm

VELOCIDAD A 1730 RPM		
ITEM	Desalineación (mm)	Potencia (%)
1	0	1.25
2	0.3	2.5
3	0.6	3.75
4	0.9	5
5	1.2	6.05
6	1.5	9.05
7	1.8	10.5
8	2.1	12.75

Fuente: Autores

Se procede a realizar la gráfica de dispersión con el fin de establecer el valor de la pendiente.

Figura 76. Desalineación vs potencia porcentual a 1730 rpm paralelo



Fuente: Autores

Se puede evidenciar en las gráficas un incremento de potencia de forma gradual, esto nos quiere decir que mientras mayor sea el grado de desalineación, mayor será la potencia consumida para generar el mismo trabajo, cabe recalcar que el incremento de potencia en la desalineación paralela es de mayor consumo que en la angular.

CAPITULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

El simulador que se construyó cumple su función ya que brinda mediciones confiables, las cuales permiten realizar estudios factibles de la de desalineación, cuyos análisis permiten tener una idea clara sobre los cambios que éstos pueden tener al someter tanto a la desalineación angular o la desalineación paralela.

El simulador permite la toma de las mediciones tanto de vibraciones como de calidad de la energía de forma efectiva, las cuales pueden ser obtenidas de acuerdo a la metodología de cada ensayo, así como en puntos de medición más adecuados y pertinentes para la recolección de datos.

Para poder ejecutar los estudios planteados se precisó un módulo didáctico bajo los parámetros requeridos (carga y velocidad variable), en el que se realizó las desalineaciones tanto angular como paralela, y de esta manera evidenciar el comportamiento de las variables dependientes de la desalineación en este caso la vibración en valores de rms en (mm/s) y la actuación de la potencia en (W).

Se consiguió obtener los datos para el análisis de las variables, como de las potencias y de las vibraciones con los equipos de eficiencia energética FLUKE 435 II y el Vibracheck ABG 200 respectivamente, los mismos que son precisos en la adquisición de datos para el diagnóstico.

Con las pinzas amperimétricas adquiridas i5s, se logró una mayor precisión en la adquisición de datos de potencia en vatios (W) mas no en Kilovatios (W) e intensidad, para las distintas velocidades del posterior análisis, cabe recalcar que tiene un rango de medida sensible de 10 mA a 5 A.

Al realizar la toma de datos se puede observar el comportamiento del espectro fundamental (1X), y los correspondientes a la desalineación paralela y angular que son

2X y 3X quienes nos muestran de manera clara y precisa la severidad de la desalineación, en cuanto incrementa el nivel de Desalineación de los ejes en mili radianes para el caso de desalineación angular y en milímetros para la desalineación paralela.

Para la desalineación paralela se puede observar de manera confiable que mientras aumenta gradualmente la severidad de la desalineación, los armónicos 2X y 3X incrementan progresivamente en cuanto a amplitud, mientras que el armónico fundamental 1X varía de manera despreciable, esta variación se da por el esfuerzo extra que realiza el motor para cumplir su función, incrementando los valores de rms total, de la misma manera se puede observar el comportamiento creciente de la potencia en cuanto aumenta en grado de severidad de la desalineación, estos resultados están presentes con las velocidades de 900 rpm, 1200 rpm y 1730 rpm, con su respectiva carga que se mencionó en capítulos anteriores.

6.2 Recomendaciones

Para replicar el ensayo presentado se debe utilizar los equipos de protección personal, seguir las instrucciones planteadas en los manuales de operación, para de esta manera salvaguardar la integridad propia y de las demás personas.

Se debe hacer un estudio termográfico a los motores eléctricos de las mismas características bajo los parámetros planteados en cuanto a velocidad y carga con los mismos grados de desalineación para poder observar el derroche de energía existente convertida en calor.

Se debe analizar el comportamiento de la amplitud de los espectros relacionados con la desalineación paralela y angular (2X y 3X), y el valor total del rms, con acoples flexibles, que son empleados en la transmisión de pequeñas potencias y muy pequeñas potencias estos son los siguientes:

- Acoplamiento flexible con forma de 8.
- Acoplamiento de engranaje.
- Acoplamiento de discos.

BIBLIOGRAFIA

A-AMQ S.A. *Asociación-máquinas*. Colombia: Medellín, 2005, pp. 3-9

CARDONA, Jhon Favio; et al. *Scientia et Technica*. Colombia: Pereira, 2010, pp. 67-69

CHARLOTTE. "Lista ilustrada de diagnóstico de vibraciones". *Technical associates of vibration*, 1996.

FITZGERALD, Kingsley; & UMANS D. Stephen. *Máquinas Eléctricas*. 6ª ed. España: Mc Graw Hill, 2003, pp. 89-90

HARPER, Gilberto Enríquez. *Instalaciones y montaje electromecánico*. México: Limusa, 2004, pp. 120

MARIN, Francisco Sánchez. *Mantenimiento Mecánico de Máquinas*. España: Universidad Jaume I, 2010, pp. 123

NTE INEN, 2498. 2009. *Eficiencia energética. Stationary electrical motors energy efficiency. requirements Eficiencia energética en motores eléctricos. Parte 1: requisitos*

PINCOLINI, Eduardo. *Consultora en instalaciones eléctricas y termomecánicas*. [Citado el: 2016 de 12 de 29]. Disponible en: http://cietconsultora.com.ar/pdf/compensacion_de_energia_reactiva_o_factor_potencia.pdf.

ROSMORENO, Antonio. *Mantenimiento Industrial. mailxmail*. [Citado el: 26 de diciembre de 2016.] Disponible en: <http://www.mailxmail.com/curso-mantenimiento-industrial-2-3/métodos-correccion-alineacion>.

SINAIS. "Ingeniería de mantenimiento". *Curso de vibraciones en resonancia*. [En línea], 2013. [Citado el: 18 de octubre de 2016]. Disponible en: <http://www.Sinais.es>.

WHITE, Glen. *Introducción al análisis de vibraciones*. Estados Unidos-Woburn: Azima DLI, 2010, pp. 78-93

KULLAGERFABRIKEN, Svenska. "Desalineación". *La importancia de alineación de ejes precisa*. [En línea], 2016. [Citado el: 15 de noviembre de 2016]. Disponible en: http://skflam.com/LAM/enews/enlace_5-10/es/alineacion.html.

Torrelavega. "Física I". Ajuste por mínimos cuadrados. [En línea]. 2012. [Citado el: 05 de enero de 2016]. disponible en: <http://ocw.unican.es/enseñanzas-tecnicas/fisica-i/practicas-1/Ajuste%20por%20minimos%20cuadrados.pdf>.

VALLEJO, Zambrano. *Física Vectorial 1*. Quito: Rodin, 2015, pp. 75-81

WILD, Theodore. *Máquinas eléctricas y sistemas de potencia*. Sexta edición. México: Person Educación, 2007, pp. 134-138

ANEXOS

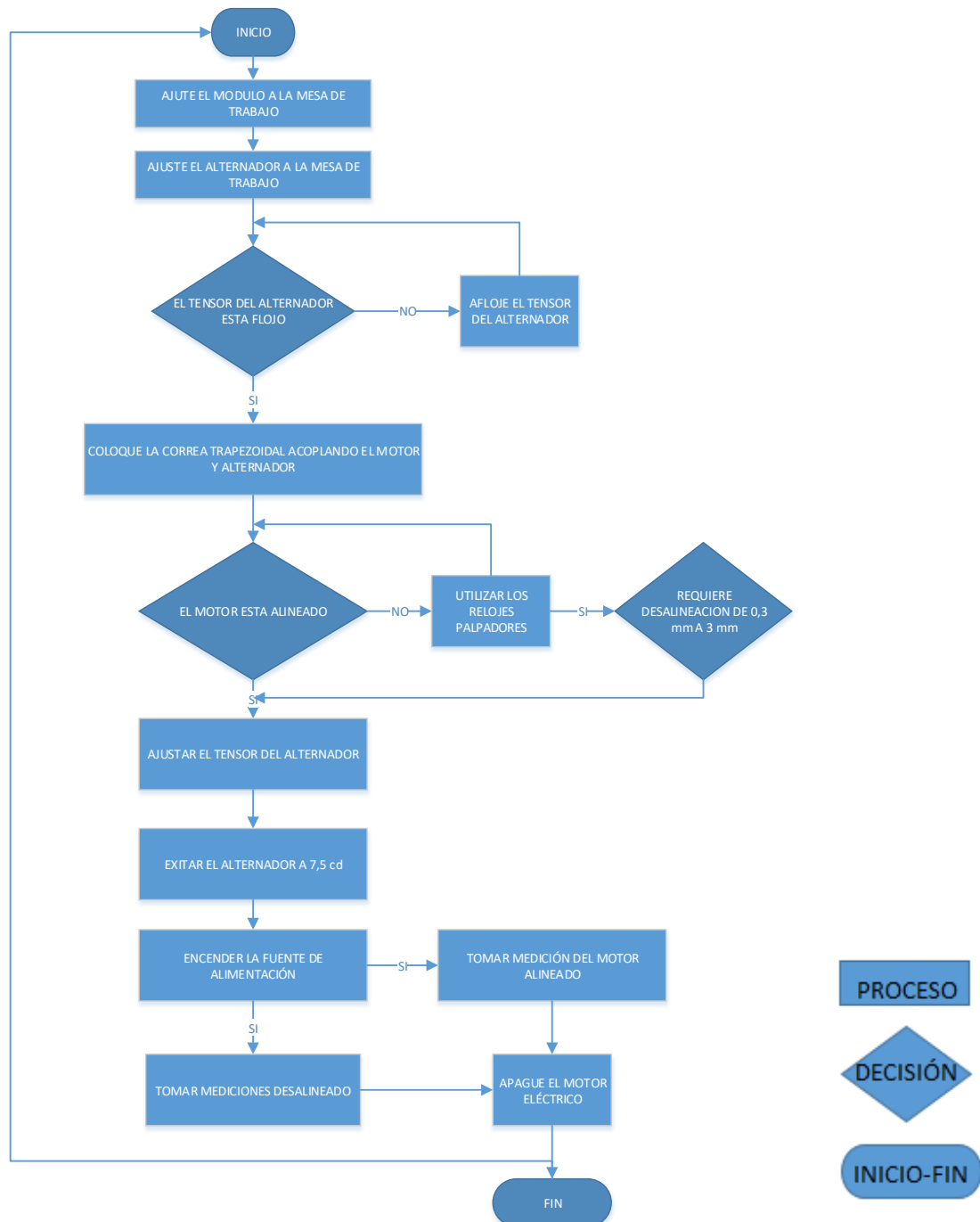
Anexo A.
Guía de operación del banco de pruebas



INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO



GUÍA DE OPERACIÓN DEL MÓDULO DE DESALINEACIÓN

LABORATORIO DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO



Anexo B.

Checklist del previo uso del banco de pruebas

	<p align="center">INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO</p> <p align="center">CHECKLIST DEL BANCO DE PRUEBAS DE LA DESALINEACIÓN</p>				
Número	Requisito previo	Cumplimiento			
		Si	No	Observaciones	
1	El banco de trabajo está en condiciones óptimas visualmente				
2	El banco de prueba está ajustado a la mesa de trabajo				
3	El alternador o carga está ajustado a la mesa de trabajo				
4	El módulo está alineado				
5	El sistema tiene el tensado deseado				
6	La base del alternador tiene el torque necesario				
7	Los relojes palpadores están colocados correctamente				
8	Los relojes palpadores se encuentran encerados				
9	La fuente de alimentación trifásica está conectada				
10	El rotor del alternador esta excitado				
<p>NOTA: Si existiera algún literal que NO cumpla se procederá a registrarlo en observaciones y se procederá rectificarlo primero, antes de empezar la práctica.</p>					
<p align="center">_____</p> <p align="center">Revisado por</p>		<p align="center">_____</p> <p align="center">Tutor de práctica</p>			

Anexo C.
Especificaciones técnicas Vibracheck 200 ABG

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Entradas dinámica	<ul style="list-style-type: none">• Rango de tensión de entrada: +/-22 V• Rango de frecuencias: DC a 10 KHz• Conversor analógico digital: 24 bits• Corriente para polarización de acelerómetros IEPE: 4 mA• Tensión de alimentación de fuente de corriente de acelerómetros IEPE: 22V• Sensibilidad configurable• Error de medición: < 1%• 105 dB de rango dinámico															
Rangos de medición con acelerómetros	<table><tr><td></td><td>Acelerómetro 100 mV/g</td><td>Acelerómetro 500 mV/g</td></tr><tr><td>Aceleración</td><td>80 g Pico</td><td>16 g Pico</td></tr><tr><td>Envolvente</td><td>80 g Pico</td><td>16 g Pico</td></tr><tr><td>Velocidad</td><td>2000 mm/s pico a pico</td><td>400 mm/s pico a pico</td></tr><tr><td>Desplazamiento</td><td>2000 micrones pico a pico</td><td>400 micrones pico a pico</td></tr></table>		Acelerómetro 100 mV/g	Acelerómetro 500 mV/g	Aceleración	80 g Pico	16 g Pico	Envolvente	80 g Pico	16 g Pico	Velocidad	2000 mm/s pico a pico	400 mm/s pico a pico	Desplazamiento	2000 micrones pico a pico	400 micrones pico a pico
	Acelerómetro 100 mV/g	Acelerómetro 500 mV/g														
Aceleración	80 g Pico	16 g Pico														
Envolvente	80 g Pico	16 g Pico														
Velocidad	2000 mm/s pico a pico	400 mm/s pico a pico														
Desplazamiento	2000 micrones pico a pico	400 micrones pico a pico														
Entrada de trigger:	<ul style="list-style-type: none">• Rango de tensión de entrada: +/-22 V• Rango de frecuencias: DC a 10 KHz• Conversor analógico digital: 24 bits• Medición con sensores de proximidad fotoeléctricos, inductivos con salida PNP o NPN, sensores de proximidad de no contacto (Keyphasors) o pickups magnéticos															
Resolución espectral	6400 líneas en Vibracheck o 12800 con MAINTraq Analyzer															
Medición de envolvente	Filtros y tiempos de retención configurable desde teclado o desde MAINTraq															
Medición de RPM y fase	<ul style="list-style-type: none">• Rango de medición: 150 a 12000 RPM															
Acelerómetro	<ul style="list-style-type: none">• Wilcoxon Research modelo 780C• Sensibilidad 100 mV/g• Rango de frecuencia 2Hz-10KHz• Rango de aceleración: 50 g pico• Rango de temperatura -50°C a 120°C• Cable espiralado de 1,8 metros• Base magnética de 40 libras															
Memoria	<ul style="list-style-type: none">• 8 MBytes expandible a 4 GBytes• 6000 Puntos de medición• 1000 máquinas• 6000 espectros de 400 líneas															
Comunicación	<ul style="list-style-type: none">• Se comunica con PC por puerto USB• Velocidad de transferencia: 256 KBits/s• Transferencias automáticas															
Baterías	<ul style="list-style-type: none">• 2 Celdas de Litio Ion• 12 horas de autonomía• Cargador incorporado• Fuente de alimentación standard de 110 o 220V a 12V															
Procesador	<ul style="list-style-type: none">• Procesador de 16 bits @ 25 MHz• Procesador digital de señales (DSP) de 24 bits @ 180 MIPS															
Salida para auriculares	<ul style="list-style-type: none">• Salida para auriculares estándar de 32 Ohms• Control de volumen digital															
Características mecánicas	<ul style="list-style-type: none">• Dimensiones: 205 (Largo) x 110 (Ancho) x 42 (Altura) mm• Peso: 600 gramos.• Conectores Amphenol roscados IP65															
Display	<ul style="list-style-type: none">• Display gráfico de 128 x 64 pixeles• Alto contraste para operar en ambientes con mucha luz• Iluminación posterior para operar en ambientes oscuros															
Condiciones ambientales	<ul style="list-style-type: none">• Rango de temperatura: 0 a 70°C• Protegido contra ingreso de polvo y agua (IP65)															
Firmware	<ul style="list-style-type: none">• Actualizable por medio de Vibracheck Update															

Anexo D.
Especificaciones técnicas Fluke 435 II

Especificaciones del producto				
	Modelo	Rango de medición	Resolución	Exactitud
Voltios				
Vrms (ca+cc)	435-II	1 V a 1000 V fase a neutro	0,01 V	± 0,1% del voltaje nominal****
Vpico		1 Vpico a 1400 Vpico	1 V	5% del voltaje nominal
Factor de cresta (CF) de voltaje		1,0 > 2,8	0.01	± 5%
Vrms½	435-II		0,1 V	± 0,2% del voltaje nominal
Vfund	435-II		0,1 V	± 0,1% del voltaje nominal
Amperios (precisión sin incluir precisión de pinza)				
Amperios (CA+CC)	i430-Flex 1x	5 A a 6000 A	1 A	± 0,5% ± 5 cuentas
	i430-Flex 10x	0,5 A a 600 A	0,1 A	± 0,5% ± 5 cuentas
	1mV/A 1x	5 A a 2000 A	1 A	± 0,5% ± 5 cuentas
	1mV/A 10x	0,5 A a 200 A (CA sólo)	0,1 A	± 0,5% ± 5 cuentas
Apico	i430-Flex	8400 Apico	1 Arms	± 5%
	1mV/A	5500 Apico	1 Arms	± 5%
Factor de cresta (CF) de amperios		1 a 10	0.01	± 5%
Amps½	i430-Flex 1x	5 A a 6000 A	1 A	± 1% ± 10 cuentas
	i430-Flex 10x	0,5 A a 600 A	0,1 A	± 1% ± 10 cuentas
	1mV/A 1x	5 A a 2000 A	1A	± 1% ± 10 cuentas
	1mV/A 10x	0,5 A a 200 A (CA sólo)	0,1 A	± 1% ± 10 cuentas
Afund	i430-Flex 1x	5 A a 6000 A	1 A	± 0,5% ± 5 cuentas
	i430-Flex 10x	0,5 A a 600 A	0,1 A	± 0,5% ± 5 cuentas
	1mV/A 1x	5 A a 2000 A	1A	± 0,5% ± 5 cuentas
	1mV/A 10x	0,5 A a 200 A (CA sólo)	0,1 A	± 0,5% ± 5 cuentas
Hz				
Hz	Fluke 435 a 50 Hz nominal	42,500 Hz a 57,500 Hz	0,001 Hz	± 0,01 Hz
	Fluke 435 a 60 Hz nominal	51,000 Hz a 69,000 Hz	0,001 Hz	± 0,01 Hz

Alimentación				
Vatios (VA, var)	i430-Flex	máx. 6000 MW	0,1 W a 1 MW	± 1% ± 10 cuentas
	1 mV/A	máx. 2000 MW	0,1 W a 1 MW	± 1% ± 10 cuentas
Factor de potencia (Cos j/DPF)		0 a 1	0.001	± 0,1% con condiciones de carga nominal
Energía				
kWh (kVAh, kvarh)	i430-Flex 10x	Según escala de la pinza de corriente y V nominal		± 1% ± 10 cuentas
Pérdidas de energía	i430-Flex 10x	Según escala de la pinza de corriente y V nominal		Exactitud de ± 1% ± 10 cuentas sin resistencia de línea
Armónicos				
Orden de armónicos (n)		CC, agrupamiento de 1 a 50: Grupos de armónicos de acuerdo con la norma IEC 61000-4-7		
Orden de interarmónicos (n)		Desactivado, agrupamiento de 1 a 50: Subgrupos de armónicos e interarmónicos de acuerdo con la norma IEC 61000-4-7		
Voltios	%f	0,0% a 100%	0.10%	± 0,1% ± n x 0,1%
	%r	0,0% a 100%	0.10%	± 0,1% ± n x 0,4%
	Absoluto	0,0 a 1000 V	0,1 V	± 5% *
	THD (Dispersión armónica total)	0,0% a 100%	0.10%	± 2,5%
Amperios	%f	0,0% a 100%	0.10%	± 0,1% ± n x 0,1%
	%r	0,0% a 100%	0.10%	± 0,1% ± n x 0,4%
	Absoluto	0,0 a 600 A	0,1 A	± 5% ± 5 cuentas
	THD (Dispersión armónica total)	0,0% a 100%	0.10%	± 2,5%
Vatios	%f o %r	0,0% a 100%	0.10%	± n x 2%
	Absoluto	Según escala de la pinza de corriente y V nominal	—	± 5% ± n x 2% ± 10 cuentas
	THD (Dispersión armónica total)	0,0% a 100%	0.10%	± 5%
Ángulo de fase		-360° a +0°	1°	± n x 1°
Flicker				
Plt, Pst, Pst(1min) Pinst		0,00 a 20,00	0.01	± 5%
Desequilibrios				
Voltios	%	0,0% a 20,0%	0.10%	± 0,1%
Amperios	%	0,0% a 20,0%	0.10%	± 1%

ANEXO E
Guía de laboratorio desalineación angular

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD: MECÁNICA

CARRERA: MANTENIMIENTO

GUÍA DE LABORATORIO DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.

PRÁCTICA No. 1. ANALISIS DE VIBRACIONES Y CALIDAD DE LA ENERGÍA DE MOTORES TRIFÁSICOS JAULA DE ARDILLA.

DATOS GENERALES:

NOMBRE: (estudiante(s))

CODIGO(S): (de estudiante(s))

.....

.....

.....

.....

GRUPO No.:

FECHA DE REALIZACIÓN:

FECHA DE ENTREGA:

dd/mm/aa

dd/mm/aa

OBJETIVO:

Describir en forma estructurada el objetivo que persigue la práctica que responda a ¿Qué se hace...? ¿Cómo se hace?; ¿Para qué se hace? y ¿su grado de calidad?

Analizar los espectros de velocidad y calidad de la energía en la desalineación angular a revoluciones de 1730, 1200 y 900 con la desalineación realizada por los relojes palpadores a distintas medidas en mm rad.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Identificar el armónico característico de la desalineación angular.
- Analizar la variación de los armónicos en las gráficas de desalineación controlada.
- Interpretar las gráficas encontradas de las diferentes variaciones.

INSTRUCCIONES

Describir la metodología utilizada para el desarrollo de la práctica, que incluye una descripción secuencial de los pasos a seguir.

- Ajuste la base del banco de pruebas de la desalineación a la mesa de trabajo.
- Ajuste la carga o alternador a la mesa de trabajo.
- Acople el motor eléctrico al alternador mediante la correa trapezoidal.
- Conecte el equipo Fluke 435II a las fases del motor con las pinzas de alta sensibilidad i5sp.
- Conecte el equipo de Vibracheck ABG 200 en modo axial su acelerómetro al motor del banco de pruebas.
- Conectar el equipo de vibraciones a la computadora por medio del cable USB.
- En el equipo de vibraciones se configura siguiendo los pasos siguientes: abrir en el computador el software MAINTraQ Viewer, en el equipo de vibraciones se va registro y a Viewer, y se comunica automáticamente con el ordenador.
- Conecte el circuito trifásico al motor eléctrico.
- Excite al rotor del alternador con 12 V c-d.
- Conecte la fuente de alimentación. El motor debe comenzar a funcionar.
- Ajuste los relojes palpadores a la placa base de la desalineación.
- Empiece a desalinear el banco de pruebas como indique el tutor a cargo de la práctica se recomienda una desalineación máxima de 15,3 mm rad.
- Tome valores de vibración en el rango de velocidad.
- Tome valores de potencia con el equipo de calidad de la energía.
- Empiece a desalinear hasta un máximo de 15, 3 mm rad o 3,3 mm

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

Observación y reconocimiento de instrumentos y equipos

- Banco de pruebas de la desalineación, observe la figura 5
- Relojes palpadores
- Fuente externa de 12 V c-d.
- Vibracheck ABG 200
- Fluke 435 II
- Carga para el banco de pruebas (alternador)
- Fototacometro
- Pinzas amperimétricas de alta sensibilidad i5s.
- OPTALING PLUS

Manejo de instrumentos y equipos

Vibracheck ABG 200

- Abrimos el software MAINTraQ Viewer, por el equipo analizador.
- Seleccionar nuevo proyecto.
- Seleccionamos en apoyo, creamos nuevo proyecto con el nombre deseado, elegimos el rodamiento 6202 zz marca NTN.
- Seleccionamos la pestaña puntos, y establecemos apoyos para el acelerómetro, en este caso de forma axial.

- Ubicamos nombres de forma que no se pueda equivocar al momento del análisis, es nuestro caso axial 1R.
- Trabajamos en el rango de velocidad que nos brinda un apoyo de 10 Hz a 1000 Hz.

Fluke 435 II

- Abrimos el software Power log en nuestro computador.
- Conectamos el equipo Fluke 435 II por medio del cable de datos USB, y seleccionamos en nuestro computador el driver.
- Seleccionamos los archivos guardados y procedemos a descargarlos uno por uno, ya que no se pueden descargar todos.

Ordenamiento y procesamiento de datos

Análisis vibracional Desalineación vs RMS

Numero de Medidas	Desalineación (mm rad)	RMS (mm/s)	
		MV	MA
1	1,38		
2	2,77		
3	4,16		
4	5,55		
5	6,94		
6	8,33		
7	9,73		
8	11,12		
9	12,52		
10	13,92		
11	15,32		

Análisis vibracional potencia vs desalineación

Número	Mm	mm rad	Potencia
1	0,3	1,38	
2	0,6	2,77	
3	0,9	4,16	
4	1,2	5,55	
5	1,5	6,94	
6	1,8	8,33	
7	2,1	9,73	
8	2,4	11,12	
9	2,7	12,52	
10	3	13,92	
11	3,3	15,32	

Análisis vibracional de potencia vs rms

Numero	mm rad	Potencia W	rms
1	1,38		
2	2,77		
3	4,16		
4	5,55		
5	6,94		
6	8,33		
7	9,73		
8	11,12		
9	12,52		
10	13,92		
11	15,32		

Análisis, la gráfica e interpretación de resultados

En este espacio realizar las gráficas correspondientes a cada una de las tablas e interpretar cada uno de los mismos.

Observaciones

1. ¿Qué es la desalineación angular?

2. ¿Qué picos se elevan en la desalineación angular y explique?

RESULTADOS OBTENIDOS

Identificar los posibles resultados que se obtendrán al final de una práctica de laboratorio

CONCLUSIONES

Describir en forma lógica las conclusiones a que conlleven la práctica

RECOMENDACIONES

Describir en forma lógica las recomendaciones que sean pertinentes

**NOMBRE Y FIRMA DEL
DOCENTE DE LA ASIGNATURA**

ANEXO F

Guía de laboratorio de desalineación paralela

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD: MECÁNICA

CARRERA: MANTENIMIENTO

GUÍA DE LABORATORIO DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA.

PRÁCTICA No. 1. ANALISIS DE VIBRACIONES Y CALIDAD DE LA ENERGÍA DE MOTORES TRIFÁSICOS JAULA DE ARDILLA EN LA DESALINEACIÓN PARALELA.

DATOS GENERALES:

NOMBRE: (estudiante(s))

CODIGO(S): (de estudiante(s))

.....

.....

.....

.....

GRUPO No.:

FECHA DE REALIZACIÓN:

FECHA DE ENTREGA:

dd/mm/aa

dd/mm/aa

OBJETIVO:

Describir en forma estructurada el objetivo que persigue la práctica que responda a ¿Qué se hace...? ¿Cómo se hace?; ¿Para qué se hace? y ¿su grado de calidad?

Analizar los espectros de velocidad y calidad de la energía en la desalineación paralela a revoluciones de 1730, 1200 y 900 con la desalineación realizada por los relojes palpadores a distintas medidas en mm.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

- Identificar el armónico característico de la desalineación paralela.
- Analizar la variación de los armónicos en las gráficas de desalineación controlada.
- Interpretar las gráficas encontradas de las diferentes variaciones.

INSTRUCCIONES

Describir la metodología utilizada para el desarrollo de la práctica, que incluye una descripción secuencial de los pasos a seguir.

- Ajuste la base del banco de pruebas de la desalineación a la mesa de trabajo.
- Ajuste la carga o alternador a la mesa de trabajo.
- Acople el motor eléctrico al alternador mediante la correa trapezoidal.
- Conecte el equipo Fluke 435II a las fases del motor con las pinzas de alta sensibilidad i5sp.
- Conecte el equipo de Vibracheck ABG 200 en modo radial su acelerómetro al motor del banco de pruebas.
- Conectar el equipo de vibraciones a la computadora por medio del cable USB.
- En el equipo de vibraciones se configura siguiendo los pasos siguientes: abrir en el computador el software MAINTraQ Viewer, en el equipo de vibraciones se va registro y a Viewer, y se comunica automáticamente con el ordenador.
- Conecte el circuito trifásico al motor eléctrico.
- Excite al rotor del alternador con 12 V c-d.
- Conecte la fuente de alimentación. El motor debe comenzar a funcionar.
- Ajuste los relojes palpadores a la placa base de la desalineación.
- Empiece a desalinear el banco de pruebas como indique el tutor a cargo de la práctica se recomienda una desalineación máxima de 2,7 mm.
- Tome valores de vibración en el rango de velocidad.
- Tome valores de potencia con el equipo de calidad de la energía.
- Empiece a desalinear hasta un máximo de 2,7 mm.

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

Observación y reconocimiento de instrumentos y equipos

- Banco de pruebas de la desalineación, observe la figura 5
- Relojes palpadores
- Fuente externa de 12 V c-d.
- Vibracheck ABG 200
- Fluke 435 II
- Carga para el banco de pruebas (alternador)
- Fototacometro
- Pinzas amperimétricas de alta sensibilidad i5s.
- OPTALING PLUS

Manejo de instrumentos y equipos

Vibracheck ABG 200

- Abrimos el software MAINTraQ Viewer, por el equipo analizador.
- Seleccionar nuevo proyecto.
- Seleccionamos en apoyo, creamos nuevo proyecto con el nombre deseado, elegimos el rodamiento 6202 zz marca NTN.
- Seleccionamos la pestaña puntos, y establecemos apoyos para el acelerómetro, en este caso de forma axial.
- Ubicamos nombres de forma que no se pueda equivocar al momento del análisis, es nuestro caso axial 1R.

- Trabajamos en el rango de velocidad que nos brinda un apoyo de 10 Hz a 1000 Hz.
- Fluke 435 II**
- Abrimos el software Power log en nuestro computador.
 - Conectamos el equipo Fluke 435 II por medio del cable de datos USB, y seleccionamos en nuestro computador el driver.
 - Seleccionamos los archivos guardados y procedemos a descargarlos uno por uno, ya que no se pueden descargar todos.
 - Revisar las gráficas de potencia y anotar los valores dados para poder analizarlos posteriormente.

Ordenamiento y procesamiento de datos

Complete la tabla de desalineación en cuanto incrementa su severidad.		
VELOCIDAD		
ITEM	Desalineación (mm)	Valor rms (mm/s)
		MV
1	0	
2	0.3	
3	0.6	
4	0.9	
5	1.2	
6	1.5	
7	1.8	
8	2.1	
9	2.4	
10	2.7	

VELOCIDAD		
ITEM	Desalineación (mm)	Potencia (W)
1	0	
2	0.3	
3	0.6	
4	0.9	
5	1.2	
6	1.5	
7	1.8	
8	2.1	
9	2.4	
10	2.7	
11	3	
Velocidad		

ITEM	Potencia (W)	Valor rms (mm/s)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

Análisis, la gráfica e interpretación de resultados

En este espacio realizar las gráficas correspondientes a cada una de las tablas e interpretar cada uno de los mismos.

Observaciones

¿Qué es la desalineación paralela?

¿Qué picos se elevan en la desalineación paralela y explique?

RESULTADOS OBTENIDOS

Identificar los posibles resultados que se obtendrán al final de una práctica de laboratorio

CONCLUSIONES

Describir en forma lógica las conclusiones a que conlleven la práctica

RECOMENDACIONES

Describir en forma lógica las recomendaciones que sean pertinentes

**NOMBRE Y FIRMA DEL
DOCENTE DE LA ASIGNATURA**



ANEXO G

Plan de mantenimiento del banco de pruebas.

Función Primaria		Elemento	Descripción de función	Fallas Funcionales
SIMULAR MODO DE FALLO DE DESALINEACIÓN CON CARGA APLICADA AL MOTOR ELÉCTRICO	A	Motor Eléctrico	Generar movimiento al sistema a velocidades de 900, 1200 y 1730 rpm	Movimiento deficiente
				No genera movimiento para ninguna velocidad requerida
	B	Sistema de carga	Generar carga al motor eléctrico para distintas velocidades.	Potencia deficiente
				No genera carga al motor eléctrico

Fallas Funcionales	Modo de Fallo		Efecto de Falla	Consecuencia de falla
Movimiento deficiente	1	Desbalance de voltaje en el motor	No genera movimiento suficiente para la carga	Cables sueltos, sulfatación en los terminales (operacional).
No genera moviente para ninguna velocidad requerida	2	Rodamientos agarrotados	El motor no gira.	Paro definitivo del módulo de prácticas (operacional)
	3	Bobinado del motor quemado por degradación del aislamiento	El motor se para o queda inmovilizado	
Potencia deficiente	1	Polea floja	Deslizamiento de la polea sobre el eje de transmisión	Potencia deficiente (operacional)
	2	Deslizamiento de la banda.	Banda desgastada	
No genera carga al motor eléctrico	3	Bobinado del alternador quemado por degradación del aislamiento	Alternador quemado	No transmite potencia (operacional)
	4	Cables flojos	Altas temperaturas en los cables de conexión	Deficiencia en la conducción de corriente (operacional)

Severidad	Causa de falla	Ocurrencia	Medio de Detección	Detección	RPN
7	Tornillos flojos.	3	Mediante inspecciones termográficas y mediciones con el multímetro	1	21
9	Falta de lubricación	5	Mediante análisis de vibraciones.	2	90
9	Sobrecargas, desbalances eléctricos	2	Realizar inspección con un multímetro.	1	18
7	Polea descentrada	3	Inspecciones previo a realizar la practica	1	21
8	Por fatiga o sobre carga en el sistema.	3	No se evidencia la transmisión de potencia	3	72
9	Sobrecarga eléctrica	2	Realizar inspección con un multímetro.	1	18
7	Mal ajuste de los tornillos de sujeción	3	Análisis de termografía.	3	63

	<p align="center">INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO</p> <p align="center">PLAN DE MANTENIMIENTO DEL BANCO DE PRUEBAS</p> <p align="center">LABORATORIO DE DIAGNÓSTICO TÉCNICO</p>				
Componente	Tareas	TMBF horas	R(t) %	T=- TMBF*ln(R(t)) horas	Frecuencia
Motor eléctrico	Ajustar los cables sueltos y los terminales	13140	98%	265	MENSUAL
	Cambio de rodamientos	50000	98%	1010	SEMESTRAL
	Cambio del motor	58400	98%	1180	CADA 5 AÑOS
Sistema de carga	Inspección visual de la polea floja	13140	98%	265	MENSUAL
	Cambio de banda	35000	98%	707	TRIMESTAL
	Cambio del alternador	50000	98%	1010	CADA 4 AÑOS
	Ajuste de los cables sueltos	13140	98%	265	MENSUAL